



Pedro Filipe Lourenço Varela

**Estudo de Melhoria do Serviço de
Manutenção de uma Empresa
Eletromecânica**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica

Orientador: Professora Doutora Helena Victorovna

Guitiss Navas, Professora Auxiliar, FCT-UNL

Co-orientador: Mestre Fernando Manuel Barata

Antunes Esteves, SIEPI



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Novembro 2012

Copyright

Copyright em nome de Pedro Filipe Lourenço Varela, da FCT/UNL e da UNL.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

A todos aqueles que de alguma maneira possibilitaram a realização desta dissertação o meu profundo obrigado, em especial:

À Professora Doutora Helena V. G. Navas, minha Orientadora pela oportunidade de realizar esta dissertação e por todo o apoio sempre demonstrado.

Ao Mestre Fernando M. B. A. Esteves, meu Co-orientador, pela ajuda, ensinamentos e orientação durante o estágio.

À SIEPI e a todos os seus colaboradores, em especial ao Sr. José Gonçalves e Paulo Ladeira por todo apoio prestado.

Aos meus Pais, pela paciência e enorme apoio demonstrados ao longo de toda a minha formação acadêmica.

A toda a minha família, em especial ao meu irmão Miguel, por toda a sua ajuda na formatação da dissertação.

À minha namorada Ana, por todo o apoio e pela ajuda na revisão desta tese.

A todos os meus amigos que me acompanham ao longo da vida.

Aos meus companheiros de faculdade por todos estes anos de curso.

Resumo

A presente dissertação foi elaborado no âmbito da realização de um estágio numa empresa do sector eletromecânico. A referida empresa comercializa equipamentos industriais, dentro dos quais acionamentos eletromecânicos, e presta serviços de manutenção.

Foram analisadas diversas reparações efetuadas e foram sugeridas algumas alterações tendo em vista a melhoria do processo. Para o efeito, foi criado um procedimento ao nível das reparações e foi elaborado um plano de inspeções periódicas para moto-redutores. A introdução destes melhoramentos teve por base uma pesquisa dos elementos que constituem estes equipamentos e que apresentam maior propensão de falha.

Foi também projetada uma bancada de ensaios com o intuito de monitorizar o funcionamento de um moto-reductor em condições de montagem inadequada através da utilização de sensores próprios.

No final foram analisados os resultados obtidos e retidas conclusões de todas as áreas intervencionadas.

Palavras-chave: Moto-redutores, manutenção, avarias, plano de manutenção, monitorização da condição

Abstract

This thesis is the result of an internship in a company operating in the electromechanic sector. This company sells industrial products, of which electromechanic drives, and offers maintenance services.

Several repairs made by this company were analyzed and some changes to improve the process were suggested. In order to do this, some repairment procedures and an inspection schedule for the equipment were created. This was based on a careful research of the components of the equipment and their tendency to fail.

A bench test was also devised to monitor a motor gearbox working in poorly assembled conditions, through the use of sensors.

Finally, the results were analyzed and conclusions were made on all the subjects focused in this paper.

Keywords: motor gearbox, maintenance, failure, inspection schedule, condition monitoring

Índice

Copyright	III
Agradecimentos	V
Resumo	VII
Abstract	IX
Índice	XI
Índice de Figuras	XV
Índice de Tabelas	XIX
Nomenclatura	XXI
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento e objetivos.....	1
1.2. Estrutura da dissertação	1
2. Manutenção Industrial	3
2.1. Introdução à manutenção.....	3
2.2. Modelos de manutenção	3
2.3. Tipos de manutenção	5
2.3.1. Manutenção reativa.....	7
2.3.2. Manutenção corretiva	8
2.3.3. Manutenção de melhoria.....	9
2.3.4. Manutenção preventiva.....	10
2.3.5. Manutenção preditiva	12
3. Avarias em acionamentos eletromecânicos	15
3.1. Introdução aos acionamentos eletromecânicos	15
3.2. Motores elétricos- componentes e avarias	15
3.3. Redutores de velocidade- componentes e avarias	18
3.3.1. Rolamentos	20
3.3.2. Retentores.....	23
3.3.3. Lubrificante	24
3.3.4. Engrenagens	25
4. Técnicas recentes de manutenção em acionamentos eletromecânicos	31
4.1. Técnicas de manutenção preditiva	31
4.1.1. Termografia	32

4.1.2.	Endoscopia	34
4.1.3.	Análise do lubrificante.....	34
4.1.4.	Análise de vibrações	35
4.1.4.1.	Captadores e registadores de sinais	35
4.1.4.2.	Níveis de vibração	36
4.1.4.3.	Técnicas de medição	37
4.1.5.	Vibrações em redutores de velocidade.....	37
4.1.5.1.	Frequências geradas em rolamentos com defeito	37
4.1.5.2.	Frequências geradas em engrenagens.....	38
4.1.5.3.	Frequência de rotação dos eixos	38
4.1.5.4.	Frequências geradas por perturbações.....	38
5.	Plano de atividades de manutenção para a empresa SIEPI	39
5.1.	Situação atual de atividades de manutenção da empresa	39
5.2.	Atividades típicas de manutenção desenvolvidas pela empresa.....	40
5.2.1.	Caso Nº1	40
5.2.2.	Caso Nº2.....	41
5.2.3.	Caso Nº3.....	43
5.2.4.	Caso Nº4.....	44
5.3.	Procedimento de reparação existente na empresa e propostas de melhoria	45
5.3.1.	Atual percurso de manutenção dos equipamentos.....	45
5.3.2.	Melhorias a efetuar no procedimento de reparação	45
5.3.2.1.	Análise da ficha de reparação interna existente.....	45
5.3.2.2.	Melhorias a efetuar na ficha de reparações	46
5.3.2.3.	Proposta de melhoria no processo de armazenamento	47
5.3.2.4.	Introdução de um historial de avarias.....	48
5.4.	Proposta de um plano de manutenção preventivo sistemático	48
5.4.1.	Equipamentos alvo de manutenção preventiva	49
5.4.2.	Organização do plano de manutenção preventiva	50
5.4.3.	Instruções para manutenção preventiva	51
5.4.4.	Ficha de manutenção preventiva para moto-redutores	54
5.5.	Sistema de monitorização preditivo com monitorização de condição	55
5.5.1.	Bancada de ensaios	55
5.5.1.1.	Estrutura base.....	55
5.5.1.2.	Alavanca	57

5.5.1.3.	Placa do variador	57
5.5.2.	Equipamentos utilizados	58
5.5.3.	Sensores de monitorização.....	60
5.5.3.1.	Medição da temperatura do lubrificante.....	61
5.5.3.2.	Medição de vibrações	62
5.5.4.	Aquisição de dados	63
5.5.5.	Programa para a análise de vibrações	64
5.5.6.	Programa <i>Vacon live</i>	65
6.	Monitorização do equipamento	67
6.1.	Metodologia dos ensaios efetuados	67
6.2.	Principais frequências a visualizar no espectro de frequência.....	68
6.2.1.	Cálculo das principais frequências.....	68
6.3.	Ensaios efetuados	70
6.4.	Apresentação de resultados.....	71
6.4.1.	Vibrações do redutor.....	71
6.4.2.	Monitorização da temperatura do lubrificante	72
6.5.	Discussão de resultados	73
6.5.1.	Análise de vibrações	73
6.5.2.	Evolução da temperatura do lubrificante	75
7.	Conclusões e sugestões para trabalhos futuros	77
7.1.	Conclusões	77
7.2.	Sugestões para futuros trabalhos a desenvolver	79
	Referências Bibliográficas	81
	Anexo A- Avarias em enrolamentos de motores assíncronos trifásicos [16].....	85
	Anexo B- Avarias em rolamentos [25]	87
	Anexo C- Danificações em retentores [28].....	93
	Anexo D- Ficha de reparação Siepi	95
	Anexo E- Ficha de reparação para redutores do tipo parafuso-sem-fim	97
	Anexo F- Ficha de manutenção preventiva	101
	Anexo G- Desenhos da bancada de ensaios.....	107
	Anexo H- Imagens da bancada de ensaios.....	119
	Anexo I- Resultados retirados do programa <i>Scope</i>	121
	Anexo J- Evolução da temperatura do lubrificante.....	133

Índice de Figuras

Figura 2.1- Visão geral dos tipos de manutenção [1]	6
Figura 2.2- Tipos de manutenção [9].....	6
Figura 2.3- Taxa de avarias [12].....	10
Figura 3.1- Motor rotor de gaiola [14]	16
Figura 3.2- Distribuição de falhas em motores elétricos de indução [15].....	17
Figura 3.3- Redutor de parafuso-sem-fim [21]	20
Figura 3.4- Rolamento de esferas [20]	21
Figura 3.5- Retentor em borracha [27]	23
Figura 3.6- Formação de <i>pitting</i> e <i>spalling</i> [33]	27
Figura 3.7- Demonstração de <i>pitting</i> e <i>spalling</i> [34]	27
Figura 3.8- Fratura frágil na extremidade do dente [20]	28
Figura 4.1- Câmara termográfica [39]	32
Figura 4.2- Distribuição térmica num motor com avaria num rolamento [39]	33
Figura 4.3- Temperatura de banho de óleo através de termografia [23]	33
Figura 4.4- Partículas de desgaste [37].....	35
Figura 4.5- Elementos para análise de vibração [41].....	36
Figura 5.1- Redutor de velocidades e detritos do lubrificante	41
Figura 5.2- Motor e redutor de velocidade	41
Figura 5.3- Abertura do motor elétrico.....	42
Figura 5.4- Redutor sem lubrificante e rolamento totalmente quebrado	42
Figura 5.5- Vestígios de água e pó de bronze.....	43
Figura 5.6- Flange do redutor e processo de abertura	43
Figura 5.7- Desgaste da roda de coroa.....	44
Figura 5.8- Percurso de manutenção dos equipamentos	45
Figura 5.9- Zona destinada às reparações.....	47
Figura 5.10- Nova configuração para a zona de reparações	47
Figura 5.11- Vida útil do lubrificante em função da temperatura de funcionamento [23]	53
Figura 5.12- Perfil utilizado [55].....	56
Figura 5.13- Perfil das cantoneiras [55]	56
Figura 5.14- Estrutura base	56
Figura 5.15- Alavanca	57
Figura 5.16-Placa do motor elétrico	58
Figura 5.17- Veio de saída do redutor	59

Figura 5.18- Polia e <i>tapperlock</i>	59
Figura 5.19- Sonda de monitorização da temperatura do lubrificante	61
Figura 5.20- Colocação da sonda de temperatura no redutor	61
Figura 5.21- Colocação do sensor de vibração no redutor	63
Figura 5.22- Conector e respetivo cabo de ligação	63
Figura 5.23- Programa <i>Scope</i> [66].....	65
Figura 5.24- Programa <i>vacon live</i>	66
Figura 6.1- Linha de monitorização do equipamento	71
Figura H.1- <i>Render</i> da estrutura projetada	119
Figura H.2- <i>Render</i> da estrutura projetada	119
Figura H.3- Imagem da bancada de ensaios em funcionamento	120
Figura H.4- Imagem da bancada de ensaios em funcionamento	120
Figura I.1- Motor e variador desligado em <i>RMS AVG100</i> escala logarítmica na frequência	121
Figura I.2- Motor e variador desligado em <i>RMS AVG100</i> escala linear na frequência	121
Figura I.3- Motor e variador desligado em <i>PK. Hold AVG100</i> escala logarítmica na frequência ..	121
Figura I.4- Motor e variador desligado em <i>PK. Hold AVG100</i> escala linear na frequência	122
Figura I.5- Motor e variador em <i>standby RMS AVG100</i> escala logarítmica na frequência	122
Figura I.6- Motor e variador em <i>standby RMS AVG100</i> escala linear na frequência	122
Figura I.7- Motor e variador em <i>standby PK. Hold AVG100</i> escala logarítmica na frequência	123
Figura I.8- Motor e variador em <i>standby PK. Hold AVG100</i> escala linear na frequência	123
Figura I.9- Sem carga <i>RMS AVG100</i> escala logarítmica na frequência	123
Figura I.10- Sem carga <i>RMS AVG100</i> escala linear na frequência	124
Figura I.11- Sem carga <i>PK. Hold AVG100</i> escala logarítmica na frequência	124
Figura I.12- Sem carga <i>PK. Hold AVG100</i> escala linear na frequência	124
Figura I.13- 22 kg <i>RMS AVG100</i> escala logarítmica na frequência	125
Figura I.14- 22 kg <i>RMS AVG100</i> escala linear na frequência	125
Figura I.15- 22 kg <i>PK. Hold AVG100</i> escala logarítmica na frequência	125
Figura I.16- 22 kg <i>PK. Hold AVG100</i> escala linear na frequência	126
Figura I.17- 22 kg <i>RMS AVG100</i> escala logarítmica na frequência	126
Figura I.18- 22 kg <i>RMS AVG100</i> escala linear na frequência	126
Figura I.19- 22 kg <i>PK. Hold AVG100</i> escala logarítmica na frequência	127
Figura I.20- 22 kg <i>PK. Hold AVG100</i> escala linear na frequência	127
Figura I.21- 38 kg <i>RMS AVG100</i> escala logarítmica na frequência	127
Figura I.22- 38 kg <i>RMS AVG100</i> escala linear na frequência	128
Figura I.23- 38 kg <i>PK. Hold AVG100</i> escala logarítmica na frequência	128
Figura I.24- 38 kg <i>PK. Hold AVG100</i> escala linear na frequência	128

Figura I.25- 38 kg <i>RMS AVG100</i> escala logarítmica na frequência.....	129
Figura I.26- 38 kg <i>RMS AVG100</i> escala linear na frequência.....	129
Figura I.27- 38 kg <i>PK. Hold AVG100</i> escala logarítmica na frequência.....	129
Figura I.28- 38 kg <i>PK. Hold AVG100</i> escala linear na frequência.....	130
Figura I.29- 38 kg <i>RMS AVG100</i> escala logarítmica na frequência.....	130
Figura I.30- 38 kg <i>RMS AVG100</i> escala linear na frequência.....	130
Figura I.31- 38 kg <i>PK. Hold AVG100</i> escala logarítmica na frequência.....	131
Figura I.32- 38 kg <i>PK. Hold AVG100</i> escala linear na frequência.....	131
Figura J.1- Evolução da temperatura do lubrificante na situação de sem carga	133
Figura J.2- Evolução da temperatura do lubrificante na situação de 22 Kg.....	133
Figura J.3- Evolução da temperatura do lubrificante na situação de 22 Kg	134
Figura J.4- Evolução da temperatura do lubrificante na situação de 38 Kg.....	134
Figura J.5- Evolução da temperatura do lubrificante na situação de 38 Kg.....	135
Figura J.6- Evolução da temperatura do lubrificante na situação de 38 Kg.....	135
Figura J.7- Evolução da temperatura do lubrificante na situação de 38 Kg.....	136
Figura J.8- Evolução da temperatura do lubrificante na situação de 38 Kg.....	136

Índice de Tabelas

Tabela 3.1- Algumas avarias em motores elétricos- adaptado de [16].....	17
Tabela 5.1- Historial de reparações do cliente.....	48
Tabela 5.2- Pontuação através do método <i>Ipinza</i> [50].....	49
Tabela 5.3- Classificação através do método <i>Ipinza</i> [50]	50
Tabela 5.4- Instruções de manutenção para motores elétricos trifásicos- adaptado de [52].....	51
Tabela 5.5- Instruções de manutenção para redutores de velocidade- adaptado de [53][23]	52
Tabela 5.6 – Frequência de mudança do lubrificante [53]	53
Tabela 5.7- Dados técnicos do motor elétrico [56].....	58
Tabela 6.1- Frequências de defeito dos rolamentos do sem-fim [68]	69
Tabela 6.2- Frequências de defeito dos rolamentos da roda de coroa [68]	70
Tabela 6.3- Testes efetuados	70
Tabela 6.4- Parâmetros dos testes à temperatura do lubrificante	72
Tabela 6.5- Valor médio das temperaturas obtidas.....	73

Nomenclatura

ABS, Acrilonitrila butadieno estireno (Termoplástico)

ADC, *Analog-to-Digital Converter*

BPFI, *Ball pass frequency inner race*

BPFO, *Ball pass frequency outer race*

BSF, *Ball spin frequency*

CA, Corrente alterna

CC, Corrente contínua

CTMF, Curva tempo médio de falha

cv, cavalo-vapor

DAC, *Digital-to-Analog Converter*

EP, *Extreme Pressure*

FAA, *Federal Aviation Authority*

FFT, *Fast Fourier Transform*

FPM, Fluoroelastômero (Viton)

FTF, *Fundamental train frequency*

hp, *horse power*

Hz, Hertz

IV, índice de Viscosidade

JIPM, *Japan Institute of Plant Maintenance*

MC, Manutenção Corretiva

min, minuto

MM, Manutenção de Melhoria

MP, Manutenção Preventiva

MPD, Manutenção Preditiva

MSG1, *Maintenance Steering Group No.1*

NBR, Borracha Nitrílica

NP EN, Norma Portuguesa Norma Europeia

PT, Platina

RCM, *Reability Centered Maintenance*

RMS, *Root Mean Square*

rpm, rotações por minuto

RTD, *Resistive Temperature Detectors*

RTF, *Run to Failure*

S/s, *Sample's per second*

SIEPI, Sociedade Industrial de Equipamentos para a Industria

TMF, Tempo Médio de Falha

TPM, *Total Productive Maintenance*

TRS, *Tip-Ring-Sleeve*

1. Introdução

1.1. Enquadramento e objetivos

A proposta de realização desta dissertação surgiu em conjunto com uma oportunidade de realização de um estágio numa empresa industrial do ramo eletromecânico.

Esta dissertação tem como objetivo analisar as atividades e procedimentos de manutenção existentes atualmente na empresa e estudar as oportunidades de melhoria. Pretende-se analisar as principais áreas de negócio de manutenção industrial, bem como promover possíveis melhorias e ajudar a empresa a adquirir novas competências em diferentes tipos de manutenção que se venham a tornar interessantes para dinamizar potenciais áreas de negócio.

A empresa SIEPI comercializa equipamentos industriais, dos quais se destacam os acionamentos eletromecânicos. Para além da comercialização deste tipo de equipamentos, fornece aos seus clientes serviços de manutenção tanto em fase de garantia como posteriormente. Nesse sentido surgiu a oportunidade de integrar a equipa, que no âmbito do projeto conjunto, entre a SIEPI e o DEMI, FCT-UNL, realizou o estudo de melhorias das atividades de manutenção da empresa.

1.2. Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em sete capítulos, onde são abordadas as seguintes temáticas:

No capítulo 1 é efetuada uma introdução ao tema da dissertação e é apresentada a estrutura da mesma.

No capítulo 2 é efetuada uma apresentação sobre a manutenção industrial. Este capítulo encontra-se dividido em três subcapítulos:

No subcapítulo 2.1 faz-se uma introdução à manutenção e é descrita a sua evolução.

No subcapítulo 2.2 são referidos os modelos de manutenção existentes.

No subcapítulo 2.3 são explicados os diversos tipos de manutenção existentes.

No capítulo 3 apresentam-se as temáticas de acionamentos eletromecânicos e descrevem-se um conjunto de avarias que ocorrem neste tipo de equipamentos. Este capítulo encontra-se dividido em três subcapítulos.

No subcapítulo 3.1 é efetuada a definição de equipamentos eletromecânicos

No subcapítulo 3.2 é introduzida a temática dos motores elétricos e as principais avarias que ocorrem neste tipo de equipamentos.

No subcapítulo 3.3 são abordados os redutores de velocidade e as avarias que ocorrem nos principais componentes que os constituem.

No capítulo 4 são abordadas as técnicas recentes de manutenção preditiva utilizadas em acionamentos eletromecânicos.

No capítulo 5 é efetuado um plano de atividades de manutenção da empresa SIEPI. Este capítulo encontra-se dividido em quatro subcapítulos.

No subcapítulo 5.1 é explicada a atual manutenção efetuada pela empresa.

No subcapítulo 5.2 são explicados quatro casos de reparações de equipamentos.

No subcapítulo 5.3 são feitas sugestões de melhoria no processo de reparação dos equipamentos.

No subcapítulo 5.4 é elaborado um plano de manutenção preventivo.

No subcapítulo 5.5 é projetada uma bancada de ensaios para utilização de técnicas preditivas com monitorização de condição.

No capítulo 6 são demonstradas monitorizações efetuadas para o sistema criado. Este divide-se em quatro subcapítulos.

No subcapítulo 6.1 é explicada a metodologia às monitorizações efetuadas aos equipamentos.

No subcapítulo 6.2 apresentam-se as principais frequências a monitorizar.

No subcapítulo 6.3 apresentam-se os ensaios efetuados.

No subcapítulo 6.4 é apresentada a respetiva análise de resultados.

No capítulo 7 são apresentadas as conclusões desta dissertação, bem como sugestões de futuros trabalhos a desenvolver. Este capítulo divide-se em dois subcapítulos.

No subcapítulo 7.1 são apresentadas as conclusões.

No subcapítulo 7.2 são sugeridos futuros trabalhos a desenvolver.

2. Manutenção Industrial

2.1. Introdução à manutenção

A manutenção é definida como um conjunto de ações de cariz técnico, administrativo e de gestão que são tomadas durante o período de vida de um bem, com o intuito de mantê-lo em situação de desempenhar as funções que lhe foram conferidas [1].

A revolução industrial do século XIX fez com que fosse necessário efetuar reparações regulares nos equipamentos, executadas pelos próprios operadores. Durante a 1ª Guerra Mundial a pressão criada sobre a indústria, levou à introdução de equipas especializadas com o intuito de efetuar reparações de cariz corretivo no menor espaço de tempo possível. A manutenção teve uma significativa evolução com a expansão da aviação comercial nos anos 40, dado que foi necessário introduzir métodos preventivos, porque a resolução de problemas técnicos durante o voo era bastante complicada ou até mesmo impossível [2].

O uso do computador, conjugado com um melhor conhecimento da utilização de materiais e também com o melhor controlo das técnicas de fabrico, permitiu a partir dos anos 60, o nascimento de novas formas de manutenção possibilitando obter a indicação da ocorrência eminente de falha no equipamento, em vez do anterior processo de intervenção periódica e sistemática [3].

Com a posterior introdução da microeletrónica o conceito de manutenção evoluiu para a manutenção condicionada e, posteriormente, preditiva. Esta evolução deveu-se à utilização de aparelhos de medição que efetuam um monitoramento em tempo real do estado do equipamento, detetando atempadamente a ocorrência de falhas [2].

2.2. Modelos de manutenção

No âmbito da evolução anteriormente referida, nos anos 70 surge na Europa o conceito de manutenção definido por Terotecnologia. Este conceito é uma junção de diversas atividades, entre elas, a gestão, engenharia e finanças. Tem como objetivo conjugar a minimização de custos com uma maior vida útil. Este conceito de manutenção baseia-se em diversos aspetos, tais como, a fiabilidade, conceção e custos de serviço dos diversos componentes que integram o parque industrial [2].

Na mesma década surge no Japão o modelo de manutenção denominado de **TPM**, um conceito moderno de manutenção. Atualmente está introduzido em diversos países, com boa implementação, sendo uma marca registada do **JIPM** [4]. O objetivo da **TPM** é chegar às “zero avarias” [5].

Para isso este modelo requer uma aproximação entre todos os sectores da empresa de modo a existir uma estreita colaboração. A manutenção é executada com a colaboração de todas as hierarquias da empresa. A sua implementação baseia-se em 8 princípios [4]:

- Melhoria dos equipamentos
- Estruturação da manutenção autónoma
- Estruturação da manutenção planeada
- Incremento das capacidades do técnico da manutenção e do operador por meio de formação
- Controlo inicial de equipamento e produtos
- Manutenção da qualidade
- **TPM** nos escritórios
- Higiene, segurança e controlo ambiental

Com a introdução da **TPM** são esperados resultados que se dividem em 2 categorias; os tangíveis e intangíveis[4]. Dos tangíveis temos:

- Aproximação a “zero falhas”
- Fiabilidade das máquinas
- Diminuição de tempos de paragem dos equipamentos
- Aumento da produtividade
- Diminuição de acidentes de trabalho
- Diminuição dos gastos em energia e de outros recursos associados à produção

Intangíveis:

- Aumento da motivação dos colaboradores
- Criação de um bom ambiente de trabalho
- Melhoria da imagem da empresa

O modelo da Manutenção Centrada na Fiabilidade, do Inglês *Reability Centered Maintenance* foi desenvolvido por volta dos anos 60, numa época em que os engenheiros de produção acreditavam que os equipamentos possuíam uma vida limitada e que necessitavam de reconstrução parcial periódica, de modo a manter padrões de confiança aceitáveis [6].

Com o aparecimento do Boeing 747, o modelo de certificação aplicado pela **FAA** tornou-se demasiado obsoleto, tendo sido necessário desenvolver métodos de análise de modo a reduzir a ocorrência de uma falha[7]. Em 1968 um grupo de companhias aéreas juntou-se de modo a

encontrar uma metodologia de resolução do problema. Este grupo foi denominado de **MSG1**. O relatório elaborado por essa comissão introduziu os conceitos de manutenção centrada na fiabilidade [8]. Os principais objetivos da **RCM** são:

- Facilitar a manutenção preventiva
- Reunir informação que permita a reabilitação de itens insatisfatórios
- Restabelecimento de índices de confiança e segurança em equipamentos deteriorados através da manutenção preventiva
- Obtenção dos parâmetros anteriores com um custo total reduzido

2.3. Tipos de manutenção

Existindo unanimidade dos autores sobre a evolução histórica da manutenção, o mesmo não se pode afirmar acerca dos tipos de manutenção existentes.

Para José Cabral a manutenção divide-se em 3 grupos [4]: manutenção de melhoria, preventiva e corretiva. A manutenção preventiva para este autor é dividida em preventiva sistemática e condicional. A manutenção preventiva sistemática é executada através da realização de tarefas em intervalos de tempo pré-estabelecidos. Na manutenção preventiva condicional realizam-se trabalhos no equipamento quando existe uma indicação técnica para tal ou quando é realizado [4]:

- O diagnóstico de eminência de avaria através de técnicas de manutenção condicionada
- A avaliação em tempo real do estado do equipamento, através da interpretação de valores de ruído, folgas ou até parâmetros de funcionamento

Na **NP EN 13306 2007** a visão geral dos tipos de manutenção é dividida através da deteção, ou não de falha no equipamento [1]. A manutenção efetuada antes da ocorrência da falha é denominada de preventiva dividindo-se em condicionada e sistemática. A efetuada depois da ocorrência da falha designa-se por corretiva, dividindo-se em diferida ou imediata. A manutenção corretiva diferida é efetuada posteriormente à deteção da falha no equipamento. Por outro lado, a manutenção imediata é realizada após a deteção da falha, com vista a evitar consequências de maior. Na figura 2.1 encontra-se esquematizado os tipos de manutenção definidos na **NP EN 13306 2007**.

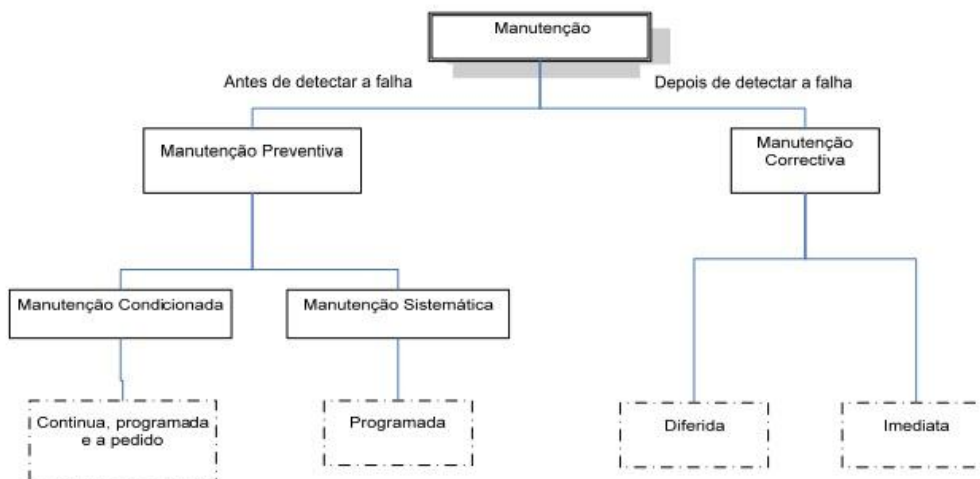


Figura 2.1- Visão geral dos tipos de manutenção [1]

Al-Shayea divide a manutenção em planeada e não planeada. A manutenção planeada subdivide-se em preditiva, preventiva, melhoria e corretiva. A manutenção não planeada ou a **RTF** acontece em situações de paragem do equipamento ou de emergência[9].

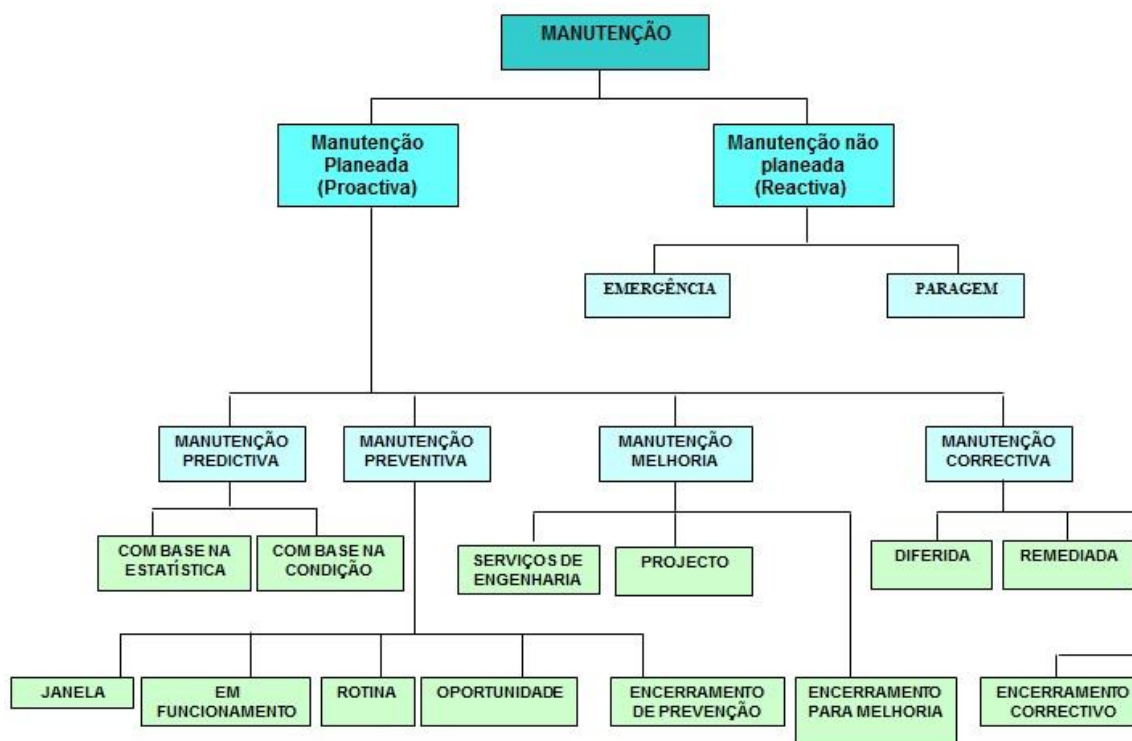


Figura 2.2- Tipos de manutenção [9]

Os quatro tipos de manutenção planeada possuem subtipos como descrito na figura acima. A manutenção não planeada ou **RTF** acontece em situações de paragem do equipamento ou de emergência.

As elevadas exigências impostas às empresas, pelo mercado atual, obrigam-nas a produzir mais e melhor a um menor custo. De modo a responder às elevadas eficiências exigidas nos processos de produção, as empresas desenvolveram sistemas de produção complexos e automatizados. A isto juntam-se elevados custos de manutenção que se refletem no preço final do produto. De modo a minimizar os custos, as empresas necessitam de maximizar a produção diminuindo os tempos de paragem e os custos de manutenção [10]. Sendo as necessidades das empresas dos dias de hoje, diferente das de outras épocas, também os tipos de manutenção adotados vão sendo modificados. Na literatura, existem diversas terminologias para os diferentes tipos de manutenção. Essas de modo sintético podem-se classificar em cinco tipos: **manutenção reativa** (não programada); **manutenção corretiva**; **manutenção de melhoria**; **manutenção preventiva**; **manutenção preditiva**.

2.3.1. Manutenção reativa

A manutenção **reativa**, ou **RTF**, tem como ideia básica “não arranjar até avariar”. Não são realizadas quaisquer ações de manutenção nos equipamentos até estes manifestarem defeitos, avarias ou a ocorrência de paragem. A palavra reativa advém do facto, da ação de reparação ser executada após a ocorrência da falha. É considerado o método de manutenção mais antigo. A **RTF** pode ser dividida em emergência ou paragem. A manutenção de emergência é executada imediatamente após a deteção da falha, de modo a recuperar o equipamento para a sua condição inicial de eficiência. A de paragem acontece após uma falha grave no equipamento da qual resulta a sua paragem[9].

De acordo com dados obtidos nos Estados Unidos do ano 2000, a manutenção reativa não programada é o método mais utilizado com uma taxa de utilização de 55% em relação aos restantes tipos de manutenção existentes. A **RTF** apresenta vantagens, ao nível da sua utilização em equipamentos novos em que se espera uma taxa de avaria extremamente reduzida, evitando custos inerentes às operações de manutenção. A utilização da **RTF** tem elevados custos que são associados a paragens não programadas dos equipamentos. Existe uma necessidade de se recorrer a horas extraordinárias de trabalho dos operadores de manutenção visto as avarias surgirem de modo inesperado. Para satisfazer necessidades de manutenção inesperadas é necessário possuir um elevado *stock* de material. Existe também a possibilidade de contágio da avaria de um equipamento a outro que exista no sistema[11].

2.3.2. Manutenção corretiva

A **MC** é caracterizada de diferentes maneiras na literatura existente. Para Al-Shayea a manutenção corretiva é um processo diferente da **RTF** pois tem como função manter o equipamento nas condições de funcionamento requeridas através de ações planejadas e regulares. Apesar das ações de correção serem efetuadas no equipamento depois da ocorrência da falha, a sua planificação tem como objetivo eliminá-las ou reduzir a sua ocorrência, mantendo os equipamentos em boas condições de funcionamento. Este método de manutenção necessita de procedimentos próprios, elevados conhecimentos por parte dos operários de manutenção e tempo adequado para a eliminação das falhas inerentes. Baseia-se em três princípios base: **curativa**, **deferida** e **paragem**. As ações tomadas no processo de manutenção **curativa** visam eliminar a fonte do problema, sem interromper a produção, retirando o equipamento com problemas, substituindo-o ou transferindo o seu papel para outro equipamento. Na manutenção **deferida** a ocorrência da falha não incorre na paragem do equipamento, sendo o processo corretivo iniciado posteriormente. O processo de manutenção corretivo de **paragem** nos equipamentos é efetuado quando a linha de produção não se encontra em atividade, não existindo assim conflitos entre a manutenção e a produção[9].

Por outro lado a manutenção corretiva, é denominada de **reativa** pois a ação é executada após a ocorrência da falha num equipamento. Alguma literatura não considera a manutenção **reativa** como um tipo de manutenção existente, pois essa é denominada de **corretiva**. Para Dhillon a manutenção corretiva é uma componente importante da atividade de manutenção. A necessidade de atos corretivos num equipamento para este autor, advém do fracasso da utilização de técnicas preventivas. São ações de manutenção não programadas devido à ocorrência de falhas imprevisíveis. São tomadas ações de carácter urgente nos equipamentos de modo a estes voltarem ao seu estado previamente estipulado. Assim sendo a manutenção **corretiva** para este autor é classificada em cinco categorias[8]:

- **Reparação da falha-** é efetuada a reparação no equipamento de modo conduzi-lo ao seu estado inicial.
- **Curativas-** são efetuadas ações de modo a retirar material irreparável e substitui-lo de modo a eliminar a avaria que este causou.
- **Reconstruções-** são efetuadas reparações e substituições dos componentes que apresentam falha. É efetuada uma desmontagem completa dos componentes e são realizados testes aos novos componentes com as iniciais diretrizes de fabrico.
- **Revisões-** são efetuadas reparações nos componentes apenas quando necessário através da inspeção utilizando padrões de manutenção.
- **Serviços-** realizam-se tarefas que estão diretamente relacionadas com a reparação de determinados componentes. Um exemplo deste tipo de manutenção corretiva é o ajuste do

nível de óleo de um redutor depois de se ter efetuado uma reparação ao nível das engrenagens.

O autor considera que também são necessários cinco passos para se executar um processo de manutenção corretivo, tal como Al-Shayea. Estes são: **localização da falha; reposição do item; correção da falha; calibração e ajustes; checkout.**

Sendo a **MC** um processo que ocorre apenas após a ocorrência da falha, exige elevados tempos de reação por parte de todos os organismos que entreveem no processo de resolução da falha. De modo a reduzir o tempo despendido no processo corretivo pode ser adotada a seguinte estratégia:

- Utilização de meios humanos altamente especializados aliados a bons procedimentos de manutenção de modo a melhorar o tempo de resposta à deteção da falha, sua localização e posterior isolamento
- Intercâmbio com o intuito de diminuir os tempos de paragem por substituição de componentes danificados
- Projeto de equipamento com aspetos redundantes que possibilitem a sua utilização quando parte do equipamento em falha se encontra em reparação de modo a reduzir os tempos de paragem
- Projeto de equipamentos com boas acessibilidades reduzindo assim parte do tempo gasto na manutenção em aceder ao local da falha
- Especial atenção ao fator humano durante a fase de projeto, tendo em especial atenção dimensões e peso dos componentes, instruções e todos os aspetos que podem reduzir os tempos despendidos em processos de manutenção corretiva

2.3.3. Manutenção de melhoria

A manutenção de melhoria tem como objetivo fundamental, a redução ou eliminação total da necessidade de manutenção. São efetuadas modificações e alterações nos equipamentos com o intuito de maximizar o seu desempenho [4]. Este tipo de manutenção pode ser conseguido através das técnicas da **TPM**. A **MM** divide-se em três tipos [9]: manutenção na **fase de projeto; serviços de engenharia**; manutenção de melhoria durante a **paragem do equipamento**. A manutenção efetuada na fase de projeto consiste nas ações tomadas para reduzir ou eliminar a necessidade de manutenção através do redesenho dos equipamentos ou das instalações. Nos **serviços de engenharia** estão contempladas todas as ações relacionadas com as instalações, tais como remoções, rearranjos ou construções. Na manutenção de **paragem**, os serviços de manutenção de melhoria são efetuados quando os equipamentos se encontram em paragem total.

2.3.4. Manutenção preventiva

No processo de manutenção **preventiva** são desenvolvidos um conjunto de ações nos equipamentos e nas instalações, antes da ocorrência da falha. A realização de ações antes do aparecimento da avaria no equipamento tem o objetivo de prevenir ou até eliminar futura deterioração das condições de funcionamento dos mesmos [9]. De um modo mais abrangente este tipo de manutenção pretende[4]:

- Aumentar a fiabilidade dos equipamentos através de uma redução da ocorrência de avarias em serviço
- Incrementar a vida útil de um determinado equipamento
- Regular a carga de trabalho
- Melhorar o planeamento dos trabalhos
- Simplificar a gestão de *stocks*
- Promover a segurança das intervenções a realizar nos equipamentos
- Reduzir os acontecimentos imprevistos

As ações desenroladas neste tipo de manutenção estão inteiramente relacionadas com o fator tempo. As avarias nos equipamentos seguem um padrão estatístico conhecido, sendo o valor da sua vida média fulcral para a aplicabilidade deste tipo de manutenção. As ações a efetuar neste tipo de manutenção vão desde simples ajustes até a mudanças de partes do equipamento. As ações desenroladas para este tipo de manutenção são efetuadas mediante a utilização de **cronogramas** e de **documentos de revisão periódica dos equipamentos**. Sendo a parte estatística da durabilidade dos componentes mecânicos muito importante neste tipo de manutenção, é utilizado a curva do tempo médio de falhas. A ocorrência de falhas nos equipamentos segue a curva esquematizada na figura 2.3.

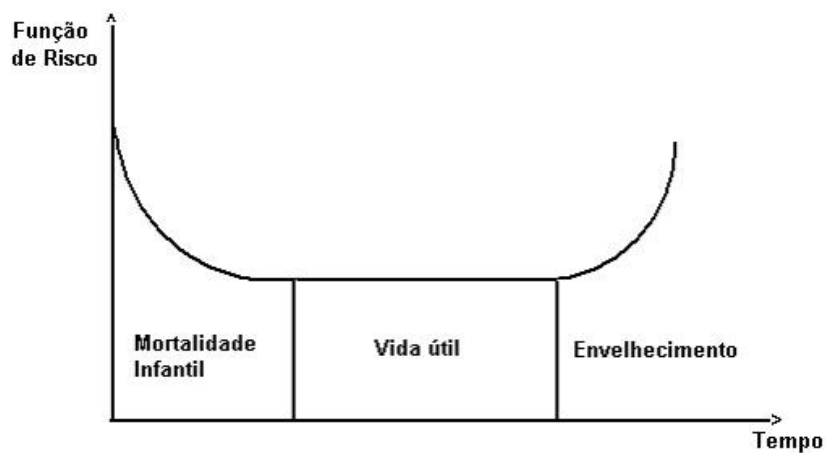


Figura 2.3- Taxa de avarias [12]

Segundo a **CTMF** um equipamento novo tem maior probabilidade de falhar durante as primeiras semanas de funcionamento devido a possíveis problemas de instalação. Terminado este período a probabilidade de falha é relativamente baixa, aumentando com o tempo de utilização devido ao desgaste do equipamento. É de extrema importância neste tipo de manutenção contemplar o desgaste do equipamento; equacionando a sua revisão periódica, bem como o local e modo de trabalho do mesmo. Um equipamento que se encontra num local mal ventilado e com condições de trabalho severas necessita de uma maior manutenção do que um equipamento que se encontra num local adequado, pois o tempo médio de falha é menor [12].

A manutenção preventiva pode dividir-se em sistemática e condicional. Na manutenção preventiva sistemática os trabalhos são planeados em intervalos de tempo periódicos, pois a ocorrência da falha no equipamento obedece à distribuição segundo a **CTMF**. A substituição dos componentes do equipamento para evitar a ocorrência da falha é independente do suposto bom estado de funcionamento do mesmo[4]. Na manutenção condicionada o equipamento é monitorizado, de modo a detetar sinais de ocorrência de falha. São efetuados controlos a parâmetros, tais como, por exemplo: temperatura, vibrações e estado de degradação do óleo. Pode ser realizada de modo contínuo ou periódico [13].

A **MP** também pode ser dividida de acordo com a natureza da aplicabilidade das ações a efetuar nos equipamentos[9]. As ações a desencadear nos equipamentos podem ser de **rotina; em funcionamento; oportunidade; janela; paragem**. Nas ações de **rotina** são realizadas tarefas de limpeza, lubrificação e pequenos ajustes. A manutenção em **funcionamento** é realizada durante a atividade do equipamento. Este tipo de operações antecede as reais intervenções preventivas a efetuar. A manutenção preventiva de **oportunidade** é realizada quando surge no equipamento uma oportunidade não equacionada nos planos de manutenção que possibilita a realização das atividades requeridas. As atividades realizadas nos equipamentos, na manutenção preventiva de **janela**, acontecem quando a utilização desse equipamento não é requerida para um determinado período de tempo. Tal como na **MC** as manutenções de **paragem** são executadas no equipamento quando este se encontra totalmente imobilizado.

A **MP** permite um aumento considerável da vida útil de um determinado equipamento, reduzindo a ocorrência de falhas e uma consequente poupança de recurso. Por outro lado, não é possível eliminar totalmente a ocorrência de uma falha catastrófica, sendo então necessário realizar manutenção reativa. Este processo de manutenção necessita de trabalho intenso por parte dos responsáveis da manutenção pois é necessário realizar diversas tarefas nos demais equipamentos como previamente estipulado. São também efetuadas substituições em diversos componentes desnecessariamente, pois a vida útil de cada um é diferente, não acontecendo a falha na altura estatisticamente prevista [11].

2.3.5. Manutenção preditiva

A manutenção preditiva tem como objetivo a detecção da falha no equipamento antes da sua ocorrência. É efetuada uma monitorização real do funcionamento do equipamento, através de leituras recorrendo a equipamentos próprios. Esta monitorização permite quantificar o desgaste do equipamento ao longo do seu processo de trabalho. Quando a leitura efetuada permite interpretar a ocorrência de uma falha procede-se a um processo de manutenção corretivo de modo a que a falha não interfira no normal de funcionamento do equipamento. É possível com este processo de manutenção quantificar o tempo de vida de determinado componente [12].

A utilização da **MPD** pretende também eliminar a necessidade da desmontagem de um determinado equipamento para a realização da inspeção ao seu correto funcionamento.

Este tipo de manutenção, de acordo com o método utilizado para a detecção dos sinais da falha, pode ser quantificado segundo a **condição** do equipamento ou baseada num processo **estatístico** [9]. Na detecção da falha segundo a manutenção preditiva baseada na **condição** é efetuada uma monitorização constante do equipamento. São registados alguns parâmetros, tais como [6]: vibração e ruído, temperatura, análise do lubrificante, inspeções visuais e ultrassons.

A **MPD** baseada na **estatística** é fundamentada através de modelos estatísticos de previsão de falhas. O desenvolvimento destes modelos é apoiado através do controle do aparecimento das falhas para um determinado equipamento [9].

Alguma literatura engloba a manutenção preditiva como uma subdivisão da preventiva. A principal diferença entre estes dois tipos de manutenção baseia-se no facto de na **MPD** ser efetuado um acompanhamento do estado do equipamento. Na **MP** a falha no equipamento ou dos seus componentes depende da **TMF**.

O processo de manutenção preditiva permite aumentar o tempo de vida dos componentes, incrementando a sua viabilidade de utilização. A ocorrência de falhas catastróficas vão sendo totalmente eliminadas e quando existem têm uma ocorrência relativamente baixa neste processo de manutenção. A necessidade de existência de *stock* de peças sofre um decréscimo substancial pois é possível prever a ocorrência da falha no equipamento e consequente aplicação de processos de corretivos. Estudos realizados afirmam que a utilização de um programa de manutenção preditivo é mais económico 10 a 12% que a utilização de um programa preventivo. Do mesmo modo um programa de manutenção reativo, é 30 a 40% mais dispendioso do que a utilização da **MPD**. Para além do facto de poder existir um retorno de 10 vezes o investimento realizado, existe uma redução dos custos de manutenção entre 25% a 30%, caindo a ocorrência de avarias para valores de 70 a 75%. Sendo uma necessidade constante das empresas manterem a sua produção sem interrupções, a utilização deste tipo de manutenção permite reduzir a inatividade dos equipamentos em 35% a 45% em relação à utilização de manutenção reativa, podendo a produção sofrer um aumento de 20 a 25%.

Como principais desvantagens associadas a este tipo de manutenção pode-se realçar o elevado custo dos equipamentos a adquirir. Do mesmo modo é imprescindível formar os técnicos de manutenção no modo de utilização dos demais equipamentos de monitorização, tendo este processo elevados custos associados[11].

3. Avarias em acionamentos eletromecânicos

3.1. Introdução aos acionamentos eletromecânicos

O moto-reductor é um equipamento eletromecânico constituído por um motor elétrico e um reductor de velocidade. São equipamentos que convertem a energia elétrica da rede em energia mecânica. Os motores elétricos normalmente possuem velocidades de rotação muito acima das necessidades industriais. Ao invés disso não possuem força suficiente para realizar diversas funções. A combinação da utilização do motor elétrico com o reductor de velocidade permite a velocidade desejada e a força necessária.

3.2. Motores elétricos- componentes e avarias

A utilização do motor elétrico está completamente massificada, devido aos seus amplos campos de aplicação. De todos os tipos de motores existentes, o elétrico é o mais usado pois combina a vantagem da utilização da energia elétrica com o baixo custo, um alto rendimento e uma elevada facilidade de transporte e utilização. Devido às características citadas anteriormente torna-o num dos equipamentos mais importantes utilizados na indústria. A introdução de controlo eletrónico, bem como a utilização de variadores permitiu controlar a velocidade dos motores. Existe uma grande diversificação dos tipos de motores atualmente. Estes podem ser separados pelo tipo de corrente elétrica que utilizam, **CC** ou **CA**.

Os motores assíncronos funcionam com **CA**. No motor assíncrono a velocidade de rotação do rotor é diferente da geração do campo eletromagnético gerado no estator. Neste tipo de equipamentos apenas o estator é alimentado, recebendo o rotor energia por indução. Dentro dos motores de indução existem os trifásicos e monofásicos. Os trifásicos são os mais utilizados na indústria devido à sua robustez; rendimento elevado; baixa manutenção e preço reduzido em comparação com outros. O motor de indução trifásico mais comum na indústria é o de rotor em gaiola, devido ao facto de não ter contactos elétricos sujeitos a desgaste, diminuindo assim a necessidade de manutenção.

Na figura seguinte encontra-se esquematizado os principais constituintes do motor elétrico de trifásico assíncrono.

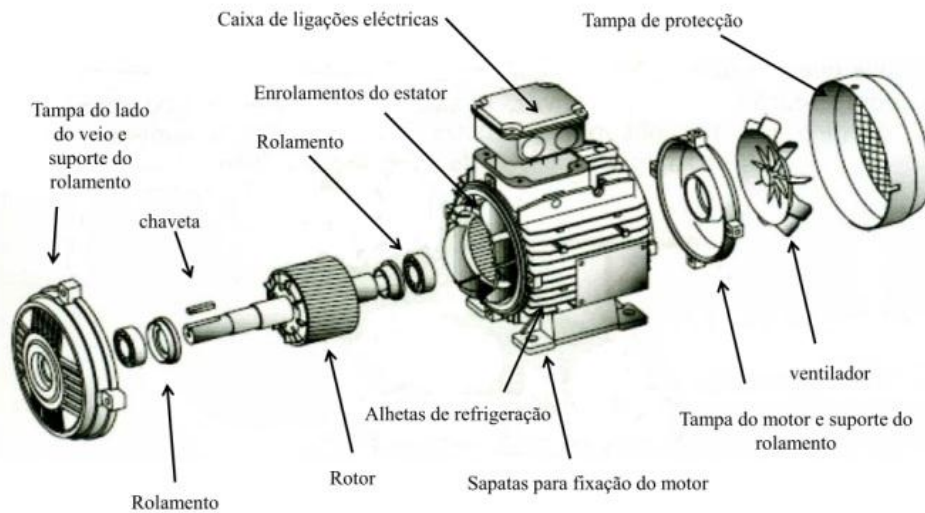


Figura 3.1- Motor rotor de gaiola [14]

Os motores elétricos assíncronos trifásicos são constituídos pelos principais componentes seguidamente indicados[14]:

- **Rotor**- parte móvel do equipamento que é constituído por conjuntos de chapas de espessura reduzida e isoladas umas das outras. Entre o rotor e o estator existe uma abertura designada por entreferro que deve ser a menor possível para aumentar a indução magnética.
- **Estator**- parte fixa do equipamento constituído por chapas ferromagnéticas empilhadas e isoladas entre si para reduzir perdas. As chapas têm ranhuras onde estão inseridos os enrolamentos
- **Rolamentos**- permitem a rotação do rotor; mantêm a posição entre o rotor e o estator
- **Carcaça**- geralmente em alumínio; aço ou ferro fundido alberga e protege todos os componentes do motor elétrico

Analisando a figura seguinte é possível comprovar que o desequilíbrio dos rolamentos do veio do rotor é a principal falha que ocorre nestes equipamentos. Falhas no estator; rotor ou veio têm um baixo índice de ocorrência. Causas externas são responsáveis por 16% das falhas o que é um número bastante significativo em comparação com as restantes [15].

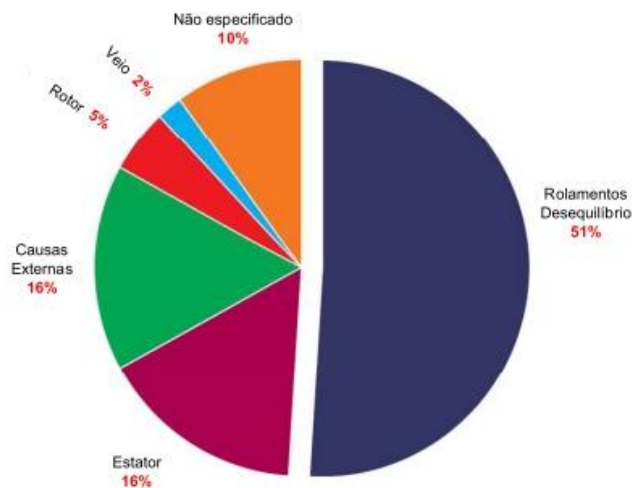


Figura 3.2- Distribuição de falhas em motores elétricos de indução [15]

Na tabela seguinte encontram-se algumas das avarias e causas mais frequentes em motores elétricos:

Tabela 3.1- Algumas avarias em motores elétricos- adaptado de [16]

Avarias	Causas prováveis
Motor não arranca	Excesso de carga Eixo torto Conexões ou cabos trocados Platinado aberto
Reduzido binário de arranque	Ligação interna errada Rotor descentrado Tensão abaixo do normal Frequência de rotação acima ou abaixo do normal
Corrente alta em vazio	Entreferro acima do especificado Tensão acima do recomendado Frequência do motor muito baixa Ligação interna errada Rotor descentralizado ou rolamentos com defeito Chapas magnéticas sem tratamento
Corrente alta em carga	Tensão fora da nominal Sobrecarga Rotor raspa no estator
Resistência de isolamento baixa	Isolantes danificados Humidade no motor Pó ou agentes químicos
Aquecimento dos rolamentos	Excesso de força axial ou radial no acoplamento Eixo torto Contaminação do lubrificante
Aquecimento do motor	Ventilação obstruída Ventoinha inadequada Tensão fora da especificada

Tabela 3.1- Algumas avarias em motores elétricos (continuação)

Avarias	Causas prováveis
Aquecimento do motor	Entreferro abaixo do recomendado Ligações erradas Sobrecarga
Ruídos elevados	Eixo desalinhado Rotor descentrado Ligações erradas Elementos estranhos no entreferro Ventilador com obstruções Rolamentos com desgaste ou defeito
Vibração excessiva	Rotor descolado e a raspar no estator Alterações na tensão da rede Ligações erradas Rolamentos com folga Eixo desalinhado Possíveis folgas no estator Anomalias na base do motor

Os enrolamentos dos motores assíncronos trifásicos podem também sofrer danos. Normalmente a sua vida útil depende de fatores específicos de utilização do motor (tensão corrente frequência, polos e grau de proteção) Quando ocorrem falhas nos enrolamentos, a primeira tarefa a realizar é a abertura do motor e análise dos mesmos [16]. Na tabela que se encontra em **anexo A** encontram-se as danificações típicas que ocorrem nos enrolamentos dos motores trifásicos.

3.3. Redutores de velocidade- componentes e avarias

Os redutores de velocidade são equipamentos totalmente massificados em termos de utilização industrial. Têm a finalidade de reduzir a velocidade e aumentar a força disponível. São utilizados, acoplados a motores elétricos ou sozinhos quando se pretende um segundo estágio de redução de velocidade. São equipamentos que utilizam diversos tipos de engrenagem dentro de uma caixa que se encontra com um certo nível de fluido lubrificante.

A sua classificação pode ser efetuada através do posicionamento entre o furo/veio de entrada e o de saída. Estes podem apresentar-se como veios concorrentes, paralelos ou não complanares.

Classificando através das engrenagens que utilizam existem redutores com engrenagens de dente **helicoidal, cónico e parafuso-sem- fim** [17]. As engrenagens cilíndricas de dentes direitos são também utilizadas para transmitir potências entre veios paralelos mas devido ao elevado ruído produzido são sobretudo utilizadas em transmissões de baixa rotação[18].

Existe um grupo à parte de redutores de engrenagens denominados de planetários. Estes são caracterizados por um “sistema solar”. São sistemas de alta precisão com elevado rendimento.

As engrenagens cilíndricas de dentes **helicoidais** possuem um engrenamento inclinado, devido à disposição transversal em forma de hélice dos dentes da roda. São utilizadas para transmissão de elevadas rotações. Devido à configuração helicoidal na transmissão de elevadas velocidades têm um melhor comportamento que as engrenagens de dentes direitos visto serem mais silenciosas. Têm como aplicação a transmissão de movimento e velocidade entre eixos paralelos ou com ângulos que normalmente são de 60 ou 90° [19]. Neste tipo de rodas dentadas o engrenamento não é efetuado simultaneamente a toda a largura do dentado, como ocorre nas cilíndricas de dentes direitos. À medida que ocorre a rotação da roda o contacto entre os dentados ocorre gradualmente seguindo uma linha não paralela aos eixos das engrenagens. A isto se deve o engrenamento suave e silencioso característico deste tipo de transmissão mecânica. Do ponto de vista da eficiência este tipo de engrenagens é idêntico às de dentes direitos.

As engrenagens **cónicas** são utilizadas quando é necessário transmitir potência entre dois eixos concorrentes entre si. O ângulo entre duas engrenagens cónicas é normalmente de 90°, mas é possível utilizar outras configurações. As engrenagens cónicas podem ser de dentes direitos ou helicoidais. As de dentes direitos são as mais utilizadas devido à sua fácil conceção. Por outro lado quando lhes são incutidas elevadas velocidades tendem a tornar-se ruidosas. As de dentado helicoidal permitem um engrenamento mais suave, sendo portanto mais utilizadas para elevadas velocidades [20].

A utilização de engrenagens de **parafuso-sem-fim** é uma combinação entre uma roda de coroa com um tipo de parafuso particular. O parafuso é o órgão do sistema, transmitindo movimento à roda de coroa. A roda de coroa tem algumas semelhanças com uma roda helicoidal, sendo os seus dentes encurvados para acoplamento ao parafuso. Este tipo de engrenagens é habitualmente utilizado para transmitir potências entre eixos que não se encontram no mesmo plano. Geralmente a transmissão de movimento é efetuada a 90° [20]. A relação de transmissão para este tipo de engrenamento varia entre 1 e 100. A grande desvantagem deste tipo de engrenamento é a gama de rendimentos. O rendimento pode ir de 45 a 97%, diminuindo com o aumento da relação de transmissão. É um engrenamento bastante silencioso e com baixos índices de vibração, quando em comparação com os outros tipos de transmissão mecânica por engrenagens [18]. Devido à configuração do dente da roda de coroa, ocorrem tal como nas engrenagens helicoidais, forças axiais que necessitam de ser absorvidas pelos rolamentos dos eixos. Entre o sem-fim e a roda de coroa ocorre uma elevada força de atrito devido ao deslizamento no engrenamento. Torna-se então muito importante os materiais utilizados na sua construção. Normalmente a roda de coroa é feita em ferro fundido ou bronze e o sem-fim em aço.

O conjunto deve funcionar em banho de óleo de modo a ocorrer sempre uma boa lubrificação [19]. A utilização deste tipo de engrenagens está fortemente massificado por toda a indústria, sendo um dos mais comercializados. Isto deve-se às potências que pode transmitir aliado a custo reduzido quando em comparação com outro tipo de redutores.

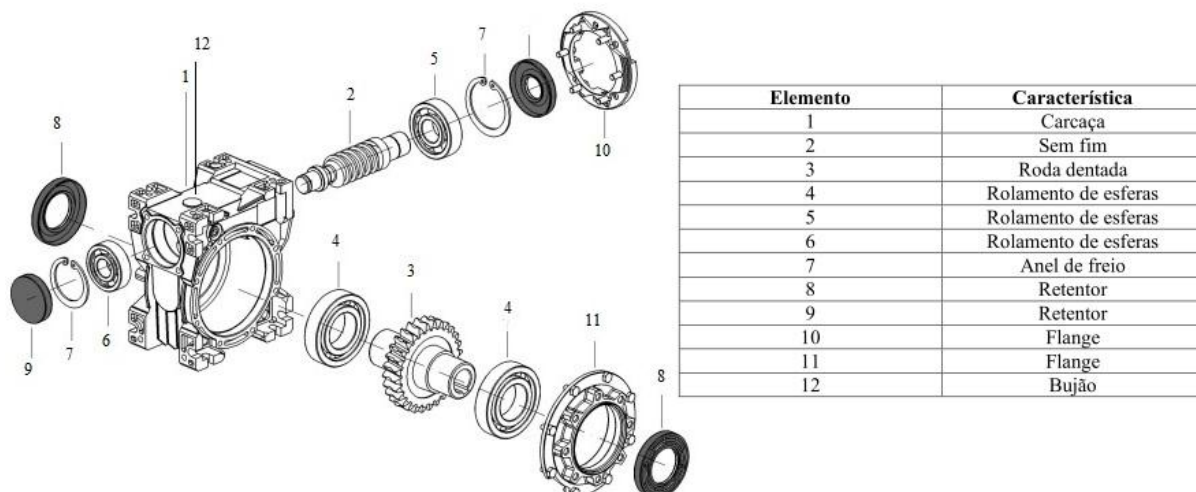


Figura 3.3- Redutor de parafuso-sem-fim [21]

Na figura acima encontra-se um típico redutor de parafuso-sem-fim com os seus principais componentes esquematizados.

A massificação da utilização de redutores de velocidades conduz a que paragens destes equipamentos causem imprevistos nas linhas de produção. Como qualquer equipamento quando não sujeito a processos de manutenção a ocorrência de avaria pode resultar em perdas a diversos níveis.

Os componentes dos redutores sujeitos a desgaste são os mais críticos de sofrer avarias. Desgaste prematuro neste tipo de equipamentos pode influenciar uma avaria grave e pode culminar na sua destruição completa [22]. **Retentores; lubrificante e rolamentos** são considerados elementos com uma vida finita. Elementos como **engrenagens; cárter e veios** são classificados como de vida infinita [23]. É de extrema importância afirmar que nos elementos considerados de vida infinita podem ocorrer avarias ou originar avarias noutros elementos. De seguida serão justificadas as principais avarias que ocorrem em alguns elementos dos redutores.

3.3.1. Rolamentos

Os rolamentos são elementos mecânicos fabricados de modo a suportar cargas radiais, axiais ou uma combinação entre as duas.

Os elementos principais que constituem um rolamento de esferas são: anel exterior; anel interior, elementos rolantes e gaiola[20].

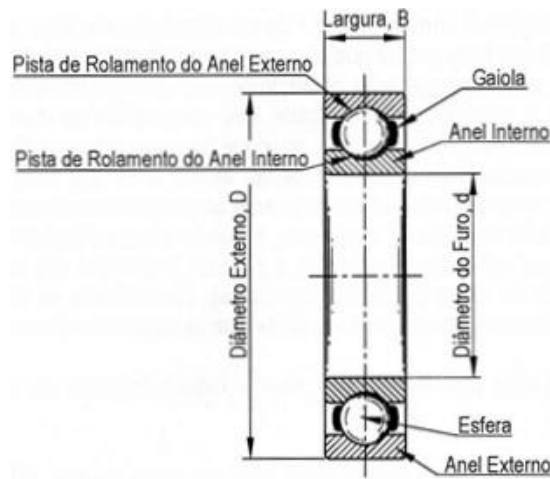


Figura 3.4- Rolamento de esferas [20]

São elementos de elevada robustez e baixo índice de avaria. Estão preparados para trabalharem em difíceis condições requerendo uma baixa manutenção. A ocorrência de falhas prematuras é relativamente inexistente.

No funcionamento deste tipo de equipamentos deve-se efetuar, uma vigilância do seguinte modo[24]:

- Escutar o movimento do rolamento de modo a determinar vibrações não consideradas regulares
- Avaliar subidas de temperatura consideradas anormais e fugas de lubrificante

Quando existem danificações nos rolamentos, estas são indicadas pelo comportamento da máquina em serviço e pela observação do rolamento depois de removido do equipamento. A alteração das condições de serviço de um equipamento acontece devido à fadiga nas pistas do rolamento. O operador responsável pela monitorização do equipamento em serviço deve estar alertado para a ocorrência de ruídos anormais ou rotação irregular do veio. Uma falha súbita neste tipo de equipamentos ocorre aquando de alterações nos parâmetros de temperatura considerados normais. A subida de temperatura se ocorrer subitamente deve-se a um não contínuo fluxo de lubrificante no rolamento, impedindo a sua normal rotação e consequente aquecimento. Se a temperatura normal de funcionamento do rolamento aumentar e se mantiver nesse regime significa que a lubrificação já não ocorre conforme projetado [25].

As danificações em rolamentos não se caracterizam necessariamente pela ocorrência de uma falha total no equipamento, mas diminuem os desempenhos do mesmo em serviço. A ocorrência de falhas na maior parte dos casos não se deve a problemas de conceção do rolamento. Estas ocorrem devido a [24]: **montagem inadequada; lubrificação deficiente; impurezas; água; defeitos no eixo; vibração; corrente elétrica e fadiga.** Na montagem deste tipo de equipamentos deve-se ter em atenção, a utilização de um método correto para evitar a ocorrência de pré-cargas

radiais que provocam descascamento nas pistas do anel exterior. Suportes para rolamentos com tolerâncias impróprias, onde o espaço de acondicionamento do rolamento é reduzido, podem originar pré-cargas axiais visto o rolamento não conseguir espaço para a sua normal dilatação térmica. Se durante o processo de montagem são infligidos golpes sobre o anel exterior do rolamento, são deixadas impressões sobre as pistas de rodagem diminuindo a sua vida.

A falta de lubrificação provoca no rolamento, um brilho polido no anel interior. Podem ocorrer também microfissuras na superfície do rolamento, existindo quebra da gaiola o que origina uma clivagem nas esferas que acontecendo culminam numa destruição total.

Impurezas no interior do rolamento e em particular, partículas sólidas, promovem pressão sobre as pistas de rodagem provocando cortes no anel interior.

Sendo normalmente os componentes dos rolamentos feitos de materiais metálicos, são altamente sensíveis à presença de água, sobretudo água salgada. A inclusão de água num rolamento em serviço origina condensação que culmina na corrosão do material metálico.

O suporte do rolamento se não tiver a forma correta para o encaixe do rolamento pode provocar a sua falha. Isto deve-se à deformação que é incutida no anel exterior, não o permitindo a sua rotação nas melhores condições.

Rolamentos sujeitos a vibrações podem ter danos permanentes no seu anel interior, devido aos elementos rolantes entrarem em contacto com o anel interior no mesmo regime da propagação da onda de vibração.

A propagação de corrente elétrica através da fina camada de lubrificante de um rolamento traduz-se na formação de crateras por queimadura na pista do rolamento. Este tipo de danos pode ocorrer quando se efetuam, por exemplo, trabalhos de soldadura num equipamento e a condução à terra não é feita da melhor maneira.

A ocorrência de fadiga deve-se a uma errada atribuição da vida útil do rolamento na fase de projeto do equipamento. Este tipo de avaria ocorre quando a vida nominal do rolamento se encontra esgotada.

Em **anexo B** encontram-se as principais danificações em rolamentos com as causas descritas, formas de evitar a danificação acompanhadas de imagens para uma melhor percepção das falhas típicas.

3.3.2. Retentores

Os retentores são elementos vedantes, utilizados tanto em motores como redutores. Têm a função de reter o lubrificante; vedar sob pressão; impossibilitar a entrada de agentes contaminantes indesejáveis e efetuar a separação entre dois meios distintos. Para a aplicação em motores e redutores em que os elementos de transmissão entre estes dois componentes são efetuados através de veios, são utilizados retentores radiais. [26].



Figura 3.5- Retentor em borracha [27]

A vedação promovida pelo retentor ocorre devido à interferência, entre o lábio de contacto e o veio do equipamento. No contacto entre estes dois elementos existem forças de atrito que levam a um desgaste do lábio do retentor. A correta escolha do material do retentor é primordial para a diminuição da geração de atrito. Existem uma grande diversidade de configurações possíveis para retentores. Normalmente são produzidos através de material elastomérico. A temperatura de funcionamento do retentor dita o material utilizado. Os retentores em **NBR**, bastante utilizados em redutores, permitem uma temperatura máxima de serviço de 90°C para massa lubrificante e 110°C para óleo. No caso de utilização de **FPM**, a temperatura máxima de vedação é de 150°C [27]. A temperatura é responsável pela vida útil do retentor, pois o calor promove um rápido envelhecimento da borracha. A este envelhecimento está relacionado a perda das propriedades elásticas do material e consequente capacidade de correta função de vedação. A rotação do eixo do motor ou do redutor também contribui para a geração de calor sendo que quanto maior as **rpm**, maior o calor gerado.

Os retentores devido à sua fragilidade são elementos suscetíveis de falhas. São recomendados especiais cuidados na montagem e armazenamento. A degradação acontece com aumentos de temperatura; aumento de força radial; falta de lubrificação e falhas que ocorram devido aos veios onde estes elementos são acoplados. A má montagem e o armazenamento em locais impróprios contribuem para a ocorrência de falhas[28]. Em **anexo C** encontram-se as falhas que ocorrem nestes elementos.

3.3.3. Lubrificante

No contacto entre duas superfícies ocorre atrito e desgaste. O desgaste é responsável pela danificação das superfícies dos elementos que se encontram em contacto. Em qualquer sistema mecânico o desgaste e o atrito são altamente prejudiciais, diminuindo a vida útil dos componentes e o seu rendimento em serviço.

A lubrificação é responsável pela redução tanto do atrito, como pelo desgaste nos equipamentos.

Como principais características, os óleos devem comportar uma viscosidade baixa; para uma reduzida tensão de corte, uma elevada condutividade térmica de modo a dissipar eficazmente o calor gerado pelo atrito entre os elementos em contacto [20].

São considerados os seguintes óleos lubrificantes [29]: óleos minerais; massas; compostos e sintéticos.

Os óleos minerais são obtidos segundo o processo de refinação do petróleo. Os graxos caíram em desuso nos dias de hoje por substituição pelos minerais que não sofrem hidrólise nem se tornam ácidos ou corrosivos com o uso. Os óleos sintéticos foram desenvolvidos em resposta às necessidades da indústria. Aos óleos minerais e sintéticos são incluídos aditivos que melhoram as suas propriedades naturais e introduzem qualidades únicas. Uma das propriedades de extrema importância é o seu índice de viscosidade. O **IV** caracteriza as variações da viscosidade e da temperatura. Num óleo que possua um elevado índice de **IV**, a sua viscosidade pouco varia com alterações da temperatura. O inverso acontece em óleos com índice de viscosidade baixo[30].

As engrenagens, normalmente devido às diminutas áreas de contacto entre os dentes, geram elevados esforços. Estes esforços, aliados a transmissão com pouca suavidade onde ocorrem choques e vibrações podem eliminar a película de lubrificante. Quando esta película é eliminada, ocorre o contacto direto entre as superfícies. Visto este contacto direto ser prejudicial para os elementos os lubrificantes devem ter qualidades químicas que evitem estas situações o melhor possível [31]. Os óleos utilizados para engrenagens podem necessitar de ser aditivados, para obterem determinadas características. Esses aditivos têm como principal papel a redução de efeitos do atrito, dispersão de calor e contenção de agentes contaminantes [29]. Para a redução do atrito devem existir aditivos **antidesgastantes**, **EP** e agentes **antiespumantes**. Para uma correta remoção de calor óleo deve ter presente, aditivos **antioxidantes** e antiespumantes. Para contenção de contaminantes são utilizados aditivos **antiferruginosos** e antioxidantes.

Engrenagens lubrificadas por circulação ou chapinhagem acarretam elevadas condições de serviço para o óleo. O fluido é projetado sob a forma de nevoeiro ou pulverização. Esta atomização do fluido expõe-no a oxidação por parte do ar.

Os óleos dentro de caixas estão preparados para operações com elevada duração temporal, pois não acumulam lamas ou depósitos que diminuam o caudal ideal e a dissipação do calor.

Podem por vezes ocorrer depósitos de água devido a impróprios ambientes de trabalho ou devido à humidade no ar. A ocorrência do aparecimento de humidade ocorre sobretudo em equipamentos que têm períodos de paragem elevados devido ao arrefecimento e aquecimento constante do óleo. A contaminação por água dá origem ao aparecimento de ferrugem nos dentes das engrenagens.

Nas engrenagens de parafuso-sem-fim o óleo cria películas muito vezes no limite. É necessário que estes óleos venham sempre preparados com aditivos onde a sua ação aumente com o aumento da carga no engrenamento.

Sabendo que a viscosidade do óleo varia com a temperatura de funcionamento das engrenagens, este é um fator importante na escolha do lubrificante. Quando a temperatura circundante é elevada e não esteja prevista a utilização de dispositivos de arrefecimento, deve-se utilizar um óleo com uma viscosidade mais elevada do que para temperaturas de funcionamento mais baixas. Em engrenagens que a lubrificação seja efetuada por chapinhagem um óleo com elevada viscosidade pode não chegar fluido ao ponto de engrenamento.

A carga que ocorre nos dentes das engrenagens esmaga as películas de óleo, fazendo com que estas se afastem das zonas de contacto. A carga é portanto um fator a considerar aquando da escolha do óleo. Quanto mais elevado for o seu valor, mais elevada deve ser a viscosidade do óleo. Para redutores de velocidade deve-se assegurar um óleo com viscosidade correta, estabilidade química e propriedades antiferrugem para elevada resistência a fenómenos de oxidação por contínua agitação e presença de ar na envolvente. Deve conter propriedades que promovam a separação da água de modo a evitar emulsões que interrompam o abastecimento. Resistência à película, para evitar o contacto direto entre as engrenagens diminuindo assim fenómenos de desgaste e atrito[30].

3.3.4. Engrenagens

As falhas que ocorrem nas engrenagens normalmente nunca culminam numa rotura total das mesmas. A rotura total apenas ocorre em situações em que a quebra de um ou mais dentes impossibilita a transmissão de movimento entre o par, ou em situações que a vibração produzida pelo defeito é tão elevada que se torna impossível a continuação do equipamento em serviço [20]. A maioria das falhas em engrenagens é baseada em problemas de montagem, sobrecargas e uma lubrificação deficiente ou inadequada. São classificadas em quatro classes: **desgaste**; **fadiga superficial**; **deformação plástica** e **fratura dos dentes**. As falhas são determinadas através de uma avaliação do equipamento, havendo a necessidade de conhecer os mecanismos envolvidos de modo a avaliar os esforços gerados. O erro de projeto e aplicabilidade da engrenagem também é responsável pela ocorrência de falhas. Devem ser efetuadas inspeções e avaliações ao real estado

das engrenagens em intervalos de tempo periódicos de modo a existir uma avaliação do desgaste, trincas e folgas [32].

O desgaste nas engrenagens ocorre devido à suspensão da película de óleo existente. Esta suspensão da película traduz-se em desgaste, que pode ser classificado em **amaciamento**, **desgaste moderado**, **desgaste acentuado** e **corrosão**.

O **amaciamento** é um processo de desgaste que ocorre por contacto entre materiais, originando uma superfície lisa. A ocorrência de adesão deve-se ao amaciamento da superfície do dente e ocorre sobretudo em engrenagens que funcionam com uma reduzida velocidade de rotação que criam um filme de óleo bastante fino. Isto pode ser alterado através da introdução de um lubrificante com uma viscosidade superior.

No **desgaste moderado** ocorre remoção de material devido ao contacto entre os dentes provocado por sobrecarga, dureza insuficiente dos dentes da engrenagem ou lubrificação inadequada. A abrasão é responsável pelo desgaste moderado e acentuado sendo a vida útil da engrenagem menor neste último.

No **desgaste acentuado** surgem ranhuras nos flancos dos dentes segundo a direção do escorregamento. A lubrificação deficiente ou inadequada também é responsável por este tipo de desgaste. Existindo material deslocado, quando ocorre este tipo de desgaste é recomendável a existência de um sistema de filtragem que limite a reintrodução dessas partículas novamente no lubrificante.

A **corrosão** é a perda de material devido à ocorrência de reações químicas ou eletrolíticas na superfície das engrenagens. A presença de agentes químicos no lubrificante ou até à própria deterioração do lubrificante bem como o ar circundante podem originar este fenómeno [32].

A **fadiga superficial** é o tipo de falha mais comum que ocorre em engrenagens. A fadiga superficial não ocorre por problemas de lubrificação mas sim devido às tensões geradas no contacto entre as superfícies. O engrenamento provoca um aumento da compressão no lado da região de contacto e tração do lado oposto. Pequenos desalinhamentos podem também ser responsáveis pela existência de fenómenos de fadiga superficial [32]. Normalmente são identificáveis quatro tipos de fadiga superficial [20]: **picagem progressiva**, **separação da camada superficial**, **desgaste do flanco do dente** e **picagem inicial**.

O **pitting** ocorre como crateras rasas nas superfícies de contacto dos dentes com aproximadamente a profundidade do endurecimento do dente (10 μm). Existem também a possibilidade da ocorrência de *spalling* que são crateras mais profundas que os *pitting* com uma profundidade que pode variar entre 20-100 μm . Na figura seguinte encontra-se esquematizado a formação de *pitting* e *spalling* em engrenagens.

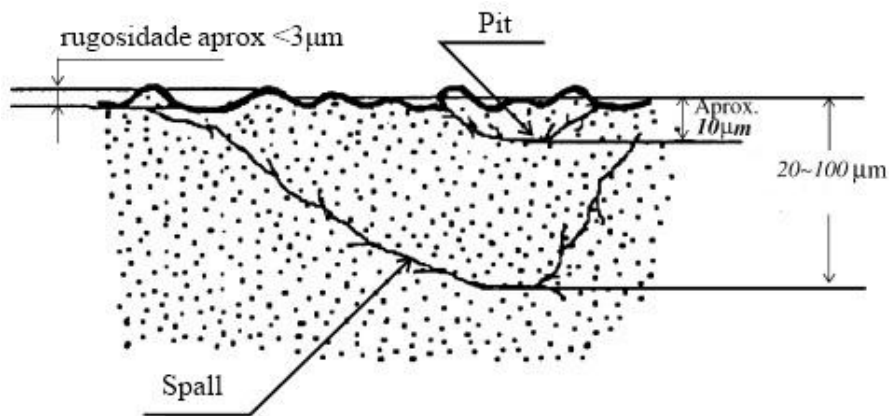


Figura 3.6- Formação de *pitting* e *spalling* [33]

O fenômeno de *pitting* em engrenagens deve-se a uma tensão muito elevada, aplicada num material macio. As fendas que ocorrem no material aumentam e ramificam-se penetrando no interior, originando a ocorrência de *spalling*. O modo de evitar este tipo de ocorrência baseia-se na diminuição da carga aplicada. A ocorrência deste fenômeno de degradação do dente pode culminar na sua fratura total [33].

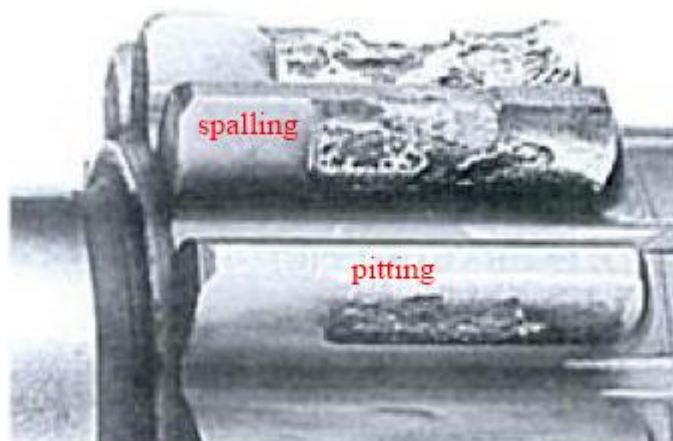


Figura 3.7- Demonstração de *pitting* e *spalling* [34]

Ocorre sobretudo em engrenagens que não possuem uma camada superficial endurecida. Aparece sobretudo nos flancos como visível na figura anterior. Normalmente nunca excedem os 2mm de comprimento e podem não evoluir durante o período de utilização da engrenagem.

A **separação da camada superficial** ocorre principalmente em materiais cementados ou temperados, nos quais existem áreas ou camadas da superfície que sofrem um descascamento. A separação da camada superficial ocorre sobretudo em engrenagens que se encontrem sobre forte solicitação mecânica, em que a sua camada endurecida não é suficiente para suportar a carga.

O **desgaste** ocorre no **flanco** dos dentes, em regiões onde existem uma elevada concentração de picadas com um tamanho reduzido e de aparência rugosa. O funcionamento prolongado de uma engrenagem com este defeito pode originar a separação de partículas finas do

dente. Após a remoção completa da zona superficial, o flanco do dente torna-se polido e liso. Este tipo de desgaste do flanco torna o funcionamento da engrenagem bastante ruidoso e com elevados níveis de vibração. Apesar de não serem claras as causas deste tipo de deterioração, equaciona-se a vibração do funcionamento da engrenagem como uma das causas possíveis. Para eliminar este problema sugere-se a utilização de um lubrificante com uma viscosidade superior.

A **deformação plástica** ocorre durante o funcionamento das engrenagens devido ao escoamento plástico nas superfícies de contacto dos dentes. O escoamento plástico é mais intenso em materiais dúcteis. Este tipo de deformação assume duas formas fundamentais: escorregamento plástico intenso e desenvolvimento de sulcos e incisões superficiais. Na engrenagem conduzida o escorregamento plástico intenso, torna o bordo fino e de aspeto brilhante. As elevadas cargas que provocam a ultrapassagem da tensão limite de elasticidade são responsáveis por estas ocorrências. Com a entrada do material no regime plástico existe um deslocamento das camadas superficiais do dente na direção do escoamento. Este fenómeno só se torna perigoso para a engrenagem se existir uma elevada danificação do perfil do dente. A utilização de um lubrificante mais viscoso pode ajudar a reduzir esta deformação plástica, mas a redução da carga transmitida consiste na principal abordagem, a efetuar para minimizar o problema [20].

A ocorrência de **fratura do dente** de uma engrenagem não implica necessariamente a não continuidade de funcionamento da mesma. Podem ocorrer por fadiga ou por sobrecarga [32]. A fratura pode ser classificada em cinco tipos[20]: **fratura frágil; fratura na extremidade do dente; fadiga por carga; fadiga por picagem e fadiga por defeito superficial.**

A **fratura frágil** é provocada por elevada carga repentina e ocorre normalmente em mais do que um dente da engrenagem. Este tipo de fratura acontece em materiais frágeis e o dente apresenta rugosidades ou uma superfície cristalina. A **fratura** que ocorre na **extremidade** de um **dente**, conforme esquematizado na figura seguinte, deve-se a um processo de fadiga rápido. Ocorre em situações de engrenamento incorreto ou em engrenagens que transmitam um elevado binário.

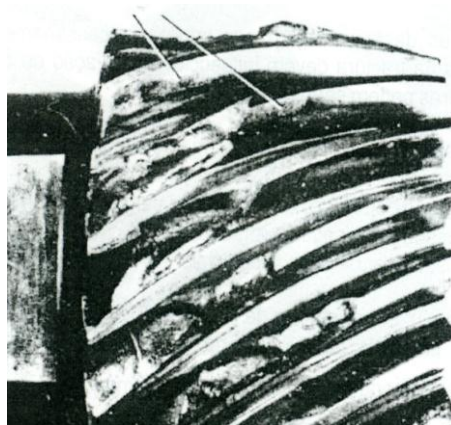


Figura 3.8- Fratura frágil na extremidade do dente [20]

A **fadiga** devido a **carga** excessiva ou cargas de impacto causa sempre fraturas com uma descoloração da base do dente visto ser a zona onde as tensões são mais elevadas. As fissuras iniciam-se deste modo, sempre na base do dente provocando fissuração da sua raiz. A continuação da engrenagem em serviço nestas condições, sujeita a carga elevada provoca rotura final do dente.

As **fraturas** que são originadas por fadiga de **picagem** progressiva são relativamente parecidas com as fraturas causadas por carga excessiva. Apenas varia que a fissura iniciou-se devido ao *pitting* na engrenagem.

As **fraturas** de fadiga por **defeito superficial** acontecem por imperfeições devido a inclusões não metálicas (óxidos ou escória) ou defeitos de retificação[20].

4. Técnicas recentes de manutenção em acionamentos eletromecânicos

4.1. Técnicas de manutenção preditiva

As técnicas de manutenção preditiva devem ser ajustadas aos respetivos equipamentos a monitorizar de modo a retirar o maior número de vantagens.

Das principais técnicas de **MPD** a análise de vibrações é nos dias de hoje a mais importante ferramenta, mas não pode ser considerada como suficiente quando não efetuada em conjunto com outras técnicas [35]. Neste tipo de manutenção não é só de grande importância a escolha das técnicas a utilizar, mas também que tipo de monitorização efetuar. A monitorização dos equipamentos pode ser subjetiva; objetiva ou contínua. Na monitorização subjetiva o papel do operador, e a sua vasta experiência nos equipamentos é fulcral. Neste tipo de monitorização a importância dos equipamentos preditivos é relativa, sendo a experiência do operador e os seus sentidos, vitais para realizar a monitorização. O simples facto, de colocar a mão sobre um equipamento e avaliar a sua temperatura, bem como auscultar um equipamento com uma caneta são técnicas que se adquirem com a experiência de anos. Na monitorização objetiva o acompanhamento dos equipamentos é efetuado com equipamentos preditivos e pessoal altamente especializado capaz de escolher e calibrar os instrumentos. Têm também que possuir elevadas competências e interpretar os dados coletados. Estas monitorizações podem ser efetuadas em intervalos pré-definidos ou sistematicamente, dependendo sempre da avaliação do valor do equipamento. A monitorização contínua é efetuada utilizando as técnicas preditivas, mas com a inclusão de alarmes que automaticamente podem encerrar os equipamentos em situações de falha. É utilizada em equipamentos com valor comercial elevadíssimo e quando existe perigo para a vida humana [36].

Das diversas técnicas que existem para monitorização e métodos de observação preditivos é necessário efetuar uma escolha das que mais se adaptam aos equipamentos que se pretendem monitorizar.

Nos casos dos motores elétricos e redutores de velocidade é necessário analisar os seus componentes nos quais se desenvolvem falhas. Nos motores elétricos, como já referido anteriormente no subcapítulo 3.2, os rolamentos são os elementos onde se desenvolvem o maior número de avarias seguindo-se o estator e o rotor. Assim sendo, é necessário monitorizar e observar possíveis evoluções destes elementos que culminem em falhas.

Nos redutores os elementos onde podem ocorrer avarias são sobretudo as engrenagens rolamentos, retentores e alterações no lubrificante. Torna-se então necessário utilizar técnicas preditivas que monitorizem estes elementos.

Para este tipo de equipamentos seleccionam-se a análise de vibrações, termografia, endoscopia e análise do lubrificante como principais técnicas preditivas [23].

A análise de vibrações, bem como a do lubrificante pode ser considerada uma técnica de monitorização, enquanto o exame visual, endoscopia e termografia podem ser enquadrados como métodos de observação preditivos [37].

4.1.1. Termografia

A termografia é uma técnica que utiliza a radiação infravermelha que os corpos naturalmente emitem. Permite efetuar medições de temperatura em conjunto com a imagem do local, que se está a monitorizar. Através de uma câmara termográfica sensível a radiação infravermelha, as leituras são decodificadas numa imagem em escala de cores. As cores quentes indicadas no ecrã traduzem altas temperaturas, e as cores frias indicam baixas temperaturas.

Um termómetro de infravermelhos é bastante utilizado para obter, sem necessidade de contacto, leituras de temperatura num único ponto, mas não permite leituras de áreas abrangentes, como os aparelhos de termografia que efetuam leituras até 3600 pontos. A câmara termográfica através do seu display utiliza a energia eletromagnética refletida para mostrar a distribuição da temperatura do objeto [38].



Figura 4.1- Câmara termográfica [39]

Este tipo de técnica tem diversos campos de aplicações, não se resumindo apenas à indústria. Na utilização em motores elétricos, este tipo de equipamento consegue encontrar problemas em rolamentos através de um aumento de temperatura na secção onde estes se encontram. Os conectores dos motores podem também ser avaliados segundo esta técnica, pela verificação de diferenças de temperatura. É também possível avaliar problemas de ventilação que provoquem sobreaquecimento no equipamento. A utilização de um termómetro infravermelho

convencional não permite detetar atempadamente estas anomalia. Sem uma imagem da distribuição térmica torna-se impossível avaliar o estado do equipamento e seus componentes [39].

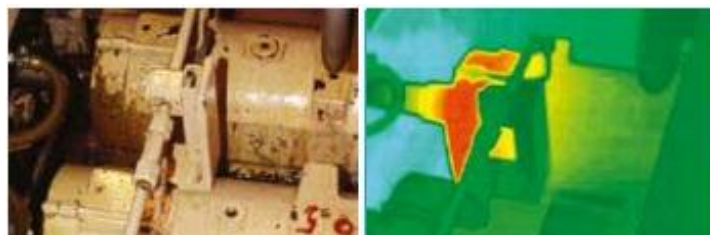


Figura 4.2- Distribuição térmica num motor com avaria num rolamento [39]

Para os redutores de velocidade a termografia é uma técnica que permite determinar a temperatura do lubrificante (figura 4.3) e a sua distribuição ao longo da caixa do equipamento. Com isto é possível determinar a necessidade de intervenção no equipamento, conhecendo os limites máximos que o lubrificante suporta. Sabendo a natureza do lubrificante do redutor, sintético ou mineral, é possível determinar a intervenção no equipamento através da temperatura do banho de óleo. As engrenagens e os rolamentos dos redutores podem também ser avaliados através desta técnica.

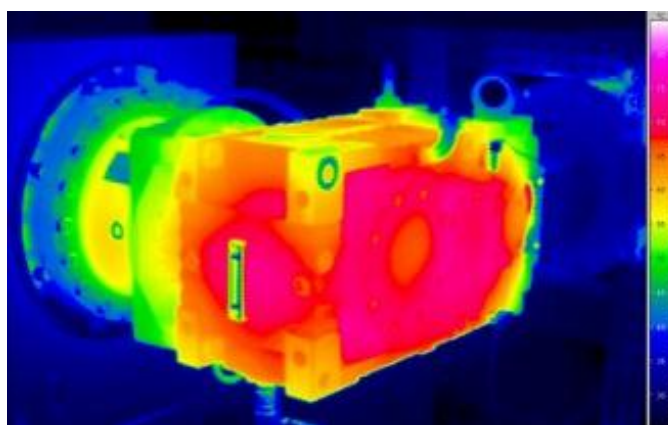


Figura 4.3- Temperatura de banho de óleo através de termografia [23]

Este tipo de técnica ainda tem um custo bastante elevado. Uma câmara de termografia pode ter um custo de quinze mil euros, dependendo das funcionalidades pretendidas. Para além do custo do equipamento é necessário adicionar a formação dos colaboradores para obter as técnicas necessárias para utilizar o equipamento. É portanto necessário prever as necessidades reais para adquirir um equipamento destes. Por outro lado uma única câmara pode ser utilizada em centenas de equipamentos, dependendo sempre da programação efetuada pelo departamento de manutenção. A contratação de um serviço externo para realizar este serviço pode ter custos de até novecentos euros por dia [11].

4.1.2. Endoscopia

A endoscopia é uma técnica de observação utilizada em manutenção preditiva que facilita inspeções em locais de difícil acesso, sem recorrer à necessidade de se desmontar o equipamento. Consiste em introduzir um cabo de fibra ótica no interior do equipamento e avaliar o seu estado através da imagem gerada no visor. Em redutores de velocidades é bastante utilizada para determinar o estado das engrenagens e avaliá-las de modo a verificar desgaste e formação de *pitting* [40].

4.1.3. Análise do lubrificante

A análise efetuada ao lubrificante é uma das mais antigas técnicas utilizadas em manutenção preditiva. A monitorização baseia-se na análise da condição do lubrificante. É determinada a viscosidade, acidez e produtos químicos para se quantificar o estado dos aditivos. O sistema de lubrificação do equipamento é também monitorizado, de modo a se determinar o teor de água e presença de outros contaminantes. A análise efetuada ao lubrificante consiste também na monitorização do desgaste do equipamento, onde são avaliadas as condições de funcionamento e o desgaste dos elementos. São verificadas a presença de metais que ocorrem do desgaste das engrenagens. Estas avaliações permitem prever o estado do equipamento e intervir quando necessário [11].

Sendo o lubrificante o responsável pela diminuição do desgaste de um equipamento, o estudo das partículas que nele se encontram é de extrema importância. A análise das partículas que se encontram no lubrificante serve para verificar o modo de desgaste (abrasão, adesão, corrosão, fadiga). Para verificação e identificação das partículas existentes no lubrificante uma das técnicas mais recorrentes é a ferrografia. Através da coleta de amostras do lubrificante são efetuadas análises às limalhas, contaminantes e avaliação desempenho do lubrificante [37].

1	ESFOLIAÇÃO	2	CORTE POR ABRASÃO
	<ul style="list-style-type: none"> * Escamas * Superfície lisa * 0,5 ~ 5µm 		<ul style="list-style-type: none"> * Cavacos * Existência de areia * 10 ~ 100µm
3	FADIGA (rolamento e engrenagem)	4	ARRASTAMENTO (engrenagens)
	<ul style="list-style-type: none"> * Esferas * ~ Regulares * ~ 3µm 		<ul style="list-style-type: none"> * Superfície rugosa * Coloração por temperatura * >20µm
5	DESGASTE SEVERO POR DESLIZAMENTO	6	PARTÍCULAS DIVERSAS
	<ul style="list-style-type: none"> * Estrias * Corte reto * > 20µm 		<ul style="list-style-type: none"> Areia Polímeros de fricção

Figura 4.4- Partículas de desgaste [37]

Existem dois níveis de ferrografia, a quantitativa e analítica. Na ferrografia quantitativa quantifica-se o número e dimensão das partículas em suspensão, avaliando-se assim o grau de desgaste do equipamento. Na analítica é efetuada uma avaliação visual à cor das partículas, tamanhos e concentração no ferrograma [37].

4.1.4. Análise de vibrações

A análise de vibrações como técnica preditiva é baseada na ideia que as estruturas das máquinas sujeitas a esforços dinâmicos exibem sinais vibratórios em que a frequência é identificada, àquela dos esforços que os tenham provocado; e a medida global captada num ponto é a soma de todas as respostas vibratórias da estrutura aos diferentes esforços excitadores.

Com a deterioração dos equipamentos acontece uma modificação da “distribuição da energia vibratória”, tendo como consequência, normalmente, o aumento dos níveis de vibração.

Com esta análise obtém-se uma espécie de assinatura vibratória do equipamento quando este era novo ou em bom estado de funcionamento podendo-se, por comparação, verificar a evolução do seu estado com o aparecimento de novos esforços dinâmicos que culminam na ocorrência de avarias [35].

4.1.4.1. Captadores e registadores de sinais

A colocação de captadores em determinados pontos, permite monitorizar, registar as vibrações geradas e determinar a origem dos esforços a que o equipamento se encontra submetido.

Os sistemas de análise de vibração necessitam de uma cadeia de equipamentos para monitorização conforme indica a seguinte figura.

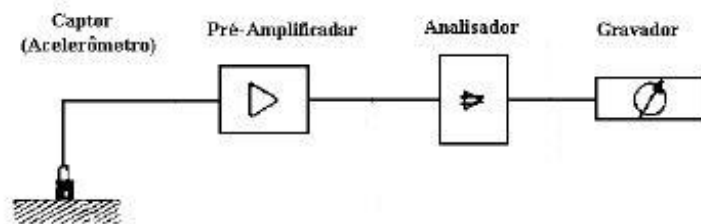


Figura 4.5- Elementos para análise de vibração [41]

O captador tem a função de adquirir os dados de vibração gerados pelo equipamento. Mede o deslocamento, velocidade ou a aceleração devido às vibrações geradas. Normalmente são utilizados acelerómetros mas existem também outros dispositivos. O acelerómetro é um equipamento piezoelétrico que transmite um sinal elétrico proporcional à aceleração da vibração [41]. Os acelerómetros são unidirecionais, logo são sensíveis às vibrações que ocorrem na direção perpendicular à superfície de montagem [42]. A utilização do acelerómetro é bastante comum para este tipo de análises devido ao seu tamanho reduzido, rigidez, possibilidade de respostas até 10.000 **Hz** e o facto de alguns modelos possuírem amplificador, de modo a que não haja necessidade de efetuá-la externamente. O amplificador trata o sinal gerado e amplifica-o. O analisador é responsável pelo processamento do sinal. O gravador guarda-o para análise futura [41].

4.1.4.2. Níveis de vibração

Os acelerómetros captam os valores em função do tempo, obtém-se assim um sinal de amplitude, em função do tempo. Para a interpretação das vibrações geradas torna-se mais prático trabalhar no domínio das frequências do que no tempo. Através da transformada de Fourier é possível obter a transição da variável no domínio no tempo para o domínio da frequência. Em cálculo computacional é utilizado um método através do algoritmo **FFT** [43].

A análise espectral (frequência) é o modo mais utilizado para interpretação de níveis de vibração. Num espectro de frequência os níveis de vibração são representados sob a forma de picos e pode-se observar variações de amplitude para diferentes frequências [37].

Os níveis de vibração podem ser medidos em valor de pico a pico, valor de pico e **RMS**. O valor de pico a pico traduz o percurso máximo efetuado pela onda e é uma forma usada para reconhecer a falha no equipamento num estágio prematuro e avançado. Não tem em conta o histórico da onda no tempo.

O valor de pico é utilizado para identificar choques de curta duração, contudo não tem em conta o histórico da onda no tempo e somente indica a ocorrência do pico.

O valor **RMS** é a medida de nível de vibração mais importante pois tem em conta o histórico da onda no tempo e a energia contida. Isto traduz a capacidade destrutiva da vibração gerada [44].

4.1.4.3. Técnicas de medição

Existem diversas técnicas de medição da análise de vibrações, de entre as quais se destaca a análise em **tempo real**. Esta técnica permite ver os resultados obtidos da medição da vibração do equipamento enquanto esta se encontra a ser monitorizado. Para que a análise em tempo real seja efetuada é necessário um computador com elevado processamento de modo a conseguir adquirir e transformar todos os dados obtidos [41].

4.1.5. Vibrações em redutores de velocidade

Num redutor de velocidade as principais frequências com interesse para realização de uma análise de vibração são: a frequência de rotação dos eixos das engrenagens; frequência de engrenamento e as frequências geradas por falhas nos rolamentos [42].

4.1.5.1. Frequências geradas em rolamentos com defeito

Os defeitos que ocorrem nos rolamentos emitem um sinal próprio, com elevada antecedência da falha catastrófica.

As falhas que ocorrem nos rolamentos estão associadas a frequências específicas. Essas estão associadas a [45]: Frequência de passagem dos elementos rolantes por um ponto da pista interna do rolamento (**BPFI**); à frequência de passagem dos elementos rolantes por um ponto da pista externa do rolamento (**BPFO**); à frequência de rotação da gaiola do rolamento ou do conjunto, da gaiola e elementos rolantes (**FTF**) ou à frequência de rotação dos elementos rolantes (**BSF**)

As frequências acima mencionadas são frequências de defeito que só são visíveis no espectro de frequência quando existir falha no equipamento ou este estiver sujeitos a esforços excessivos que poderão incorrer em falha.

Um outro modo de determinar as frequências de falhas em rolamentos é através da consulta do *site* da *SKF*. Este fornecedor de rolamentos possui um calculador que através da escolha do respetivo rolamento e introdução das velocidades de rotação determinar as frequências das avarias.

4.1.5.2. Frequências geradas em engrenagens

Defeitos ou avarias em engrenagens manifestam-se na frequência de engrenamento. Essa frequência é determinada através da velocidade de rotação da engrenagem multiplicada pelo seu número de dentes.

$$f_{engr} = N_d \times f_{r_{engr}} \quad (4.1)$$

Onde:

f_{engr} – corresponde à frequência de engrenamento (Hz)

N_d – número de dentes da engrenagem

$f_{r_{engr}}$ – frequência de rotação da engrenagem (Hz)

A presença da frequência de engrenamento é acompanhada de bandas igualmente espaçadas, relativamente perto uma da outra, com a frequência de engrenamento no meio. O desvio de simetria destas bandas, ou o próprio aumento da amplitude de resposta indicam problemas nos dentes da engrenagem. O espaçamento entre as bandas laterais é igual à frequência de rotação da própria engrenagem. A amplitude gerada depende também da carga que se encontra aplicada [46].

4.1.5.3. Frequência de rotação dos eixos

A análise de vibrações também permite identificar problemas que possam existir nos veios do eixo lento dos redutores de velocidade. Na análise espectral identifica-se a frequência do eixo do equipamento e o aumento da resposta traduz a sua deformação. É também possível identificar desalinhamentos nos acoplamentos[46]. A frequência de rotação dos eixos da redutora depende da velocidade de rotação do motor elétrico e da relação de transmissão do equipamento.

4.1.5.4. Frequências geradas por perturbações

Se a relação entre a tensão e a corrente num componente não é obtida por uma equação linear, essa carga é denominada como não-linear. A carga não linear absorve uma corrente elétrica não sinusoidal, portanto harmónicas. Isto acontece mesmo quando alimentada por uma tensão puramente senoidal. Os componentes que podem gerar harmónicas são o computador e o variador de frequência [47]. O sistema composto pelo motor elétrico e variador é também visto como uma carga não linear. A corrente gerada possui harmónicas que são múltiplas da frequência da rede [48]. Podem também ser visualizadas no espectro frequências devido á excitação elétrica. Estas podem tomar valores de 1 até 6 vezes o valor da frequência elétrica da rede.

5. Plano de atividades de manutenção para a empresa SIEPI

5.1. Situação atual de atividades de manutenção da empresa

A SIEPI como empresa comercializadora de equipamentos eletromecânicos também assegura aos seus clientes sempre que necessário um serviço de manutenção. Este suporte é assegurado em situações de garantia dos seus produtos e posteriormente em necessidades de manutenção corretiva ou reativa. Para os redutores de velocidade e motores elétricos findado o tempo de garantia, as reparações a efetuar são por conta do cliente. São registados em sistema todos os equipamentos fornecidos aos clientes de modo a que haja um controle do período de garantia de cada equipamento. A garantia fornecida pela empresa aos seus clientes não é assegurada em situações às quais a empresa é alheia- situações de má montagem, inadequação do equipamento para a função pretendida ou má utilização não são cobertas pela empresa.

A reparação dos redutores de velocidade é assegurada através de um elevado *stock*, que permite à empresa efetuar a reparação dos equipamentos. Existem em *stock*, uma elevada quantidade de rolamentos, engrenagens, retentores, juntas e caixas que permitem efetuar reparações em todo o tipo de redutores comercializados.

No caso dos motores elétricos, o mesmo acontece, existindo possibilidade de reparação. No caso de avarias nos enrolamentos o processo de reparação é entregue a uma empresa colaboradora da SIEPI que executa o procedimento.

Quando há necessidade de manutenção reativa, a empresa realiza-a sempre efetuando as reparações de modo a colocar os equipamentos de volta ao seu estado inicial de funcionamento conforme as especificações. As reparações são efetuadas em todo o tipo de redutores de velocidade independentemente da sua classificação ou tipo de engrenamento utilizado. Este serviço de manutenção reativa não se limita às marcas *STM* e *Tramec*, as marcas comercializadas pela empresa. No caso dos motores elétricos o mesmo acontece.

Atualmente, na empresa, o serviço de manutenção é limitado à manutenção reativa e corretiva. Não existe por parte da maioria dos clientes uma visão para além do “arranjar é só depois do equipamento parar”. A maioria das empresas que são clientes da SIEPI, não vêm necessidade de obterem e realizarem um plano de manutenção preventivo. Preferem ter que suportar todos os custos inerentes à paragem não programada dos seus equipamentos.

Durante a realização do estágio foi possível interpelar alguns clientes sobre a sua “abertura” para obterem um plano de manutenção preventivo. A maioria não relevou qualquer interesse, e prefere continuar com reparações não programadas. Quando se pergunta sobre o

eventual interesse em incluir nos seus equipamentos técnicas de manutenção preditiva, normalmente a resposta é um total desconhecimento sobre esta técnica e suas respectivas possibilidades de melhoria do seu nível de produção bem como a redução de custos. Esta filosofia é difícil de entender nos dias de hoje quando as empresas para sobreviver necessitam de produzir mais e melhor. Por outro lado os clientes da SIEPI são geralmente pequenas e médias empresas que têm produções de volume reduzido. Também foi possível constatar que a maioria as reparações solicitadas pelos clientes são em redutores do tipo parafuso-sem-fim. Normalmente estes têm sempre custos mais reduzidos quando em comparação com outro tipo de redutores. No caso dos motores elétricos estes têm normalmente potências abaixo dos 3 KW e são assíncronos trifásicos (rotor de gaiola).

5.2. Atividades típicas de manutenção desenvolvidas pela empresa

Do total de reparações efetuadas no departamento de manutenção da empresa estas incidiram sobretudo em equipamentos do tipo parafuso-sem-fim. Reparações em outros modelos foram raras, por serem um produto menos utilizado ou por a manutenção ser efetuada pela própria empresa.

De seguida serão apresentados alguns casos de reparações efetuadas, que traduzem a maioria dos casos relatados e que caracterizam uma grande percentagem das típicas avarias encontradas nos redutores do tipo sem-fim.

5.2.1. Caso Nº1

Reparação solicitada pelo cliente de um redutor de velocidades do tipo parafuso-sem-fim com veio de saída, motor elétrico acoplado e variador mecânico de velocidade. O equipamento era relativamente novo sem que tivesse sido indicado pelo cliente a idade exata. A marca do equipamento não corresponde às comercializadas pela empresa. Foi efetuada a abertura do equipamento e observou-se que o lubrificante apresentava alteração de cor e viscosidade. Foi totalmente desmontado o equipamento e coletou-se todo o lubrificante restante. Como é possível verificar pela figura seguinte, o redutor não tinha o correto nível de lubrificante e no fundo da caixa foi possível retirar uma pasta – trata-se de um acumulado de detritos. O equipamento foi levado para o lava-peças e constatou-se que este necessitava de retentores novos, juntas, roda de coroa nova devido à degradação do dentado e colocação de óleo mineral novo. Neste tipo de redutores de parafuso-sem fim é utilizado óleo mineral da marca *Shell Omala Oil 220*. A substituição da roda de coroa levou também o equipamento a necessitar de rolamentos novos, pois a remontagem de rolamentos usados pode levar às ocorrências de danificações que culminem em futuras avarias.



Figura 5.1- Redutor de velocidades e detritos do lubrificante

A reparação foi solicitada pelo cliente visto ter notado anomalias no funcionamento do equipamento, pelo que não é considerada como manutenção reativa.

5.2.2. Caso N°2

O redutor é do modelo RMI50 tem uma relação de transmissão de 1/100 e o motor elétrico de 0,25 KW de potência. O equipamento foi levado pelo cliente para se proceder à sua reparação. De acordo com o cliente, a roda de coroa não realizava movimento, pelo que este processo de reparação se enquadra em manutenção reativa de paragem. Procedeu-se ao desacoplamento do conjunto e verificou-se que tanto o motor como o redutor se encontravam em péssimo estado de conservação, sem nenhuma limpeza.



Figura 5.2- Motor e redutor de velocidade

Procedeu-se à abertura do motor elétrico e constatou-se que este tinha vestígios de água no estator. A caixa de bornes do equipamento tinha falta de retentores, que permitiu a entrada de água. Analisado isto iniciou-se a abertura do flange do motor para se verificar a presença de água no seu interior.

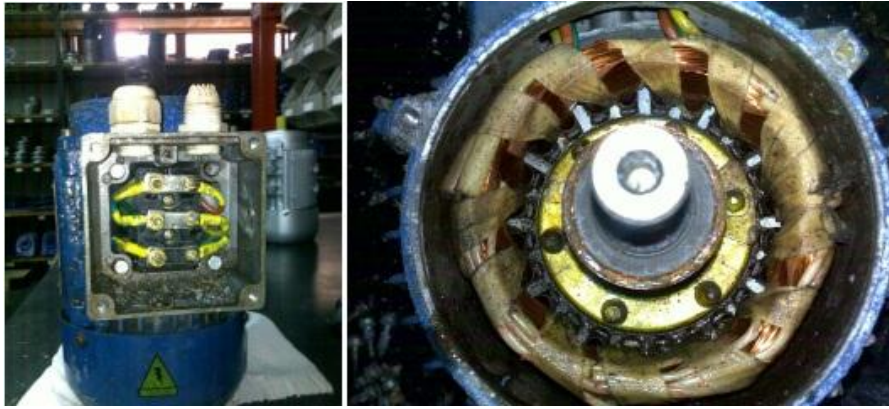


Figura 5.3- Abertura do motor elétrico

Após a abertura do motor elétrico verificou-se que existia a presença de água no rotor e no estator. Este motor elétrico para ser reparado necessitava de nova bobinagem e ligações, pelo que esse trabalho não compensaria ao cliente. Assim sendo, o cliente viu-se na necessidade de adquirir um motor novo.

No processo de abertura do redutor verificou-se que este não tinha nenhuma presença de lubrificante. A junta do flange da roda de coroa encontrava-se em péssimo estado de conservação não podendo assim proceder à vedação do equipamento. Ao ser retirada a roda de coroa do equipamento, observou-se que os seus dentes encontravam-se completamente desfeitos. O rolamento do canhão da roda de coroa encontrava-se partido, tendo todos os seus elementos efeitos de corrosão. As esferas, encontravam-se quebradas e o porta-esferas partido.



Figura 5.4- Redutor sem lubrificante e rolamento totalmente quebrado

O cliente indicou na altura de receção do equipamento que este conjunto trabalhava numa zona de água. Pelo que depois de se desmontar todo o redutor se pode constatar vestígios de água. A falha deste equipamento foi uma consequência de o motor elétrico não se encontrar preparado (o que é possível) para trabalhar em locais húmidos e com alguma água. A falha do redutor deveu-se a um excesso de carga radial sobre o veio de saída que provocou a falha no rolamento. Devido a esta ocorrência a roda de coroa desnivelou-se o que danificou o retentor do flange. Posto isto, e com a falha do rolamento e do retentor, o lubrificante saiu para o exterior e entrou água. A falta de lubrificante provocou o desgaste total da roda de coroa.



Figura 5.5- Vestígios de água e pó de bronze

Finalizada esta análise, procedeu-se à lavagem do corpo do redutor e foram colocadas novas juntas, rolamentos, retentores e uma roda de coroa.

5.2.3. Caso N°3

O equipamento, um redutor de velocidades, também do tipo parafuso-sem-fim, foi levado pelo cliente à Siepi pois perdia lubrificante pelo retentor do flange. O modelo em questão, RMI 85 encontrava-se em funcionamento numa zona onde era constantemente sujeito a vapor a elevadas temperaturas. Procedeu-se à abertura do equipamento e verificou-se que este continha um nível de lubrificação demasiado baixo para o que é recomendado pelo fabricante *STM*.

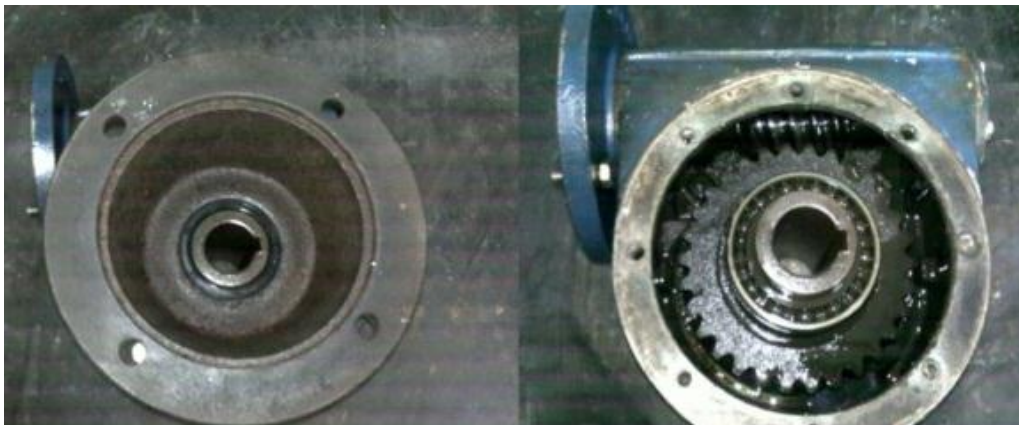


Figura 5.6- Flange do redutor e processo de abertura

Os retentores que se encontravam no redutor estavam ressequidos do vapor, pelo que o seu funcionamento em serviço se encontrava comprometido.

Procedeu-se à verificação do estado da roda de coroa, sem-fim e rolamentos e conclui-se que o seu estado possibilitava a sua continuidade ao serviço. Lavaram-se todos os componentes e adicionou-se óleo mineral novo, até ao nível correto. Trocaram-se as juntas de vedação por novas e

substituíram-se os retentores em **NBR** por retentores em **FPM** que têm a capacidade de resistir a temperaturas superiores sem degradação da borracha.

5.2.4. Caso Nº4

O proprietário deste equipamento solicitou a reparação, visto o equipamento ter deixado de funcionar. É um redutor, também do tipo parafuso-sem-fim da marca *STM*. Este equipamento tinha menos de 1 ano em funcionamento, visto a data de produção do fabricante se encontrar visível na chapa identificadora. O redutor era utilizado em conjunto com um motor elétrico no acionamento de escovas de lavagem de autocarros.

Com a abertura do redutor foi possível verificar que o equipamento se encontra sem lubrificante e com a roda de coroa completamente destruída. Analisando a roda de coroa é possível verificar que não existem dentes na engrenagem; o flanco do dente sofreu um desgaste total, pelo que, nesta situação, não existia qualquer possibilidade do equipamento funcionar. O desgaste sofrido pelo dente deixou a caixa do redutor completamente cheia de bronze, misturado com vestígios de lubrificante.



Figura 5.7- Desgaste da roda de coroa

Neste equipamento teve que ser substituída a roda de coroa, os rolamentos, as juntas, retentores e adicionado lubrificante mineral.

5.3. Procedimento de reparação existente na empresa e propostas de melhoria

As melhorias a introduzir no processo de manutenção reativa dos equipamentos passam por alterações em diversas etapas da sua reparação. Para isto serão sugeridas algumas melhorias que passam pela otimização do processo, mas nunca pelo ato de manutenção, pois este é efetuado por operadores especializados com muitos anos de experiência neste tipo de equipamentos.

5.3.1. Atual percurso de manutenção dos equipamentos

O percurso efetuado pelos equipamentos, desde que são colocados pelo cliente na empresa para reparação até que abandonam a mesma quando se encontram reparados passa pelas respetivas fases:

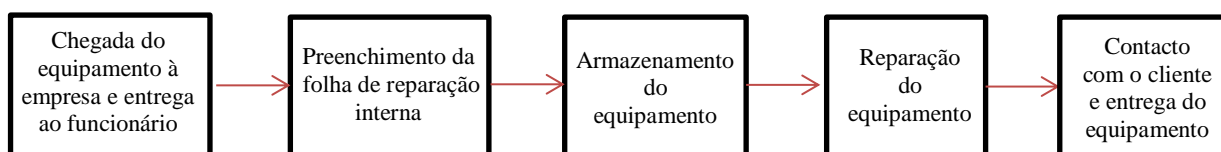


Figura 5.8- Percurso de manutenção dos equipamentos

5.3.2. Melhorias a efetuar no procedimento de reparação

Não sendo possível otimizar as fases de chegada do produto, reparação e entrega do equipamento ao cliente do equipamento, o processo de melhorias vai ser efetuado sobre as fases do preenchimento da ficha interna e armazenamento do equipamento.

5.3.2.1. Análise da ficha de reparação interna existente

Quando o cliente entrega o seu equipamento para reparação, é preenchida uma folha de reparação interna como a que se encontra em **anexo D**. O colaborador da empresa preenche-a com os dados do cliente, data de entrada do equipamento e referência do material. É entregue ao cliente, um duplicado com o número de reparação para prova de entrega do equipamento à empresa. Se for necessário solicitar peças que se encontrem indisponíveis por motivos de rotura de *stock* é tudo efetuado na folha que fica em posse da empresa. O destacável que se encontra na parte inferior é colocado no equipamento e este é armazenado na zona de reparações.

5.3.2.2. Melhorias a efetuar na ficha de reparações

Pretende-se aplicar uma ficha de reparação diferente da que se encontra atualmente implementada. Com o intuito de alterar um pouco a visão dos clientes face à manutenção dos seus equipamentos, concebeu-se uma nova ficha vocacionada para a reparação dos equipamentos, onde sejam identificáveis as falhas dos equipamentos e identificação das causas que as originaram. Com isto, pretende-se alterar a visão do cliente relativamente à necessidade de manutenção dos seus equipamentos e incutir outras formas de manutenção. Pretende-se que este seja o primeiro passo dos clientes que utilizam apenas a manutenção reativa nos seus equipamentos industriais. Não se pretende com esta introdução o abandono da ficha antiga, mas sim que esta funcione como complemento para a empresa e que seja entregue ao cliente no ato de levantamento do seu equipamento.

Nesta ficha de reparação pretende-se que haja uma total cobertura de todos os elementos sujeitos a falha e que originem falhas nos redutores de velocidade. Foi elaborada nesta primeira fase apenas para os redutores do tipo parafuso-sem-fim já que este é o produto mais comercializado pela SIEPI, e aqueles que têm mais ocorrências de pedidos de manutenção reativa. Esta ficha não contempla a reparação dos motores elétricos, pois as avarias quando possíveis de solucionar dentro da empresa, são encaminhadas para o departamento de automação.

Na ficha de reparação foram colocados índices de prioridade. Com isto pretende-se dar ao cliente a possibilidade de escolha entre diferentes tempos máximos possíveis para reparação dos seus equipamentos. Este processo é feito mediante a utilização de cores: vermelho, amarelo e verde a que corresponde um tempo máximo de reparação de até 24 horas, até 72 horas e mais de 72 horas respetivamente. Com esta possibilidade de escolha para urgência de reparação, que além do mais pode ser cobrada pela empresa como taxa de urgência, pode perceber-se o real valor do equipamento para o cliente e a falta do mesmo em serviço.

A ficha de reparação dos redutores de parafuso-sem-fim encontra-se dividida em três partes. Na primeira parte encontram-se os dados do cliente e do equipamento. O aspeto visual do redutor é também abordado nesta secção, através do preenchimento de respostas rápidas que indicam o seu estado de conservação exterior. A segunda parte corresponde ao processo de abertura do equipamento onde são verificados os componentes existentes e o seu estado de conservação. É dado grande ênfase ao lubrificante; engrenagens; rolamentos; juntas e retentores. Mais uma vez é possível indicar através do preenchimento de resposta rápida, o estado dos componentes e o técnico indicar uma opinião mais descritiva do real estado de conservação dos elementos. No final desta secção existe um campo de preenchimento de resposta mais longa para uma indicação de uma possível avaria e que elemento a originou. Na terceira e última parte desta ficha encontram-se os campos que correspondem à taxa dos custos dos elementos que tiveram que ser substituídos no equipamento. Em **anexo E** encontra-se a ficha que se criou para as situações acima descritas.

5.3.2.3. Proposta de melhoria no processo de armazenamento

Para além da ficha de reparação dos redutores modificou-se o armazenamento dos produtos que se encontram em espera para reparação. Nas prateleiras de armazenamento que se encontram destinadas aos redutores criou-se indicações de prioridade de reparação de modo a que os técnicos de manutenção estejam sempre cientes do número de reparações em fila de espera e da necessidade de cumprimentos dos prazos estipulados com os clientes, mediante a prioridade por eles escolhida. Assim, também através de indicações visuais existe um controle mais rigoroso do número de reparações a efetuar e da necessidade de intercalar as reparações com outros trabalhos existentes no departamento técnico.



Figura 5.9- Zona destinada às reparações

Pretende-se que a área destinada às reparações, que se encontra na figura acima, seja aumentada e disposta de outra maneira de modo a que existam mais divisórias disponíveis para se criarem os três níveis de prioridade de reparação conforme demonstrado na figura seguinte.



Figura 5.10- Nova configuração para a zona de reparações

5.3.2.4. Introdução de um historial de avarias

Pretende-se também, mas neste caso para organização da empresa, a criação de um ficheiro Excel. Neste ficheiro, cada empresa que possua um histórico de reparações na SIEPI terá uma ficha própria onde se encontra indicado o nome da empresa e o respetivo número de cliente. Com isto é possível criar um histórico de reparações de todos os redutores que a empresa entrega à SIEPI para reparação. Nesse ficheiro é indicado o tipo de equipamento, o código do fabricante, a data de aquisição, o tipo de manutenção que o cliente tem associado a esse equipamento e serão adicionadas colunas à medida que este chega sucessivamente à SIEPI para reparação. Com isto é possível, e sempre tendo em linha de conta a utilização da ficha de reparação dos redutores, contabilizar o número de avarias que esse equipamento já sofreu. Podendo-se ao final de um dado intervalo temporal quantificar o número de falhas e o espaçamento em que estas sucedem. Este documento pode ajudar a SIEPI a dirigir o cliente para outros métodos de manutenção mais adequados aos seus equipamentos.

A relação entre o intervalo de falhas, o número de ocorrências e as causas das falhas pode ser efetuado através da consulta das fichas de reparação e do historial de reparações.

Na tabela seguinte encontra-se exemplificado o historial de avarias criado para os equipamentos.

Tabela 5.1- Historial de reparações do cliente

Empresa:				Nº de Cliente:		
Equipamento	Código	Data de aquisição	Tipo de manutenção	Reparação interna Nº	Data	Nº de reparações do redutor

5.4. Proposta de um plano de manutenção preventivo sistemático

Pretende-se criar um plano de manutenção preventivo sistemático para os clientes que não utilizem este tipo de manutenção. Como áreas de ação, definem-se os motores elétricos assíncronos e os redutores de velocidade do tipo parafuso-sem-fim. O cliente alvo é aquele para o qual este tipo de manutenção é desconhecido e que não demonstrou interesse em alterar o tipo de manutenção (reativa) nos seus equipamentos.

5.4.1. Equipamentos alvo de manutenção preventiva

O processo de manutenção preventiva nos equipamentos deve ser efetuado naqueles cujo funcionamento em ótimas condições, seja decisivo para o funcionamento da empresa. É necessário que seja feita uma avaliação do seu valor, caso contrário apenas significará um desperdício de recursos económicos e humanos.

Existem vários métodos que permitem analisar estas necessidades, de entre os quais o método *Ipinza* (tabela 5.2 e 5.3). Este método bastante analítico e baseado numa avaliação através de pontuação engloba os seguintes critérios [49]: importância do valor do equipamento para a produção e a nível económico; existência ou não de equipamentos alternativos que possam desempenhar o mesmo papel na produção e a existência de *stock* de componentes que garantam uma rápida reparação do equipamento.

Pretende-se implementar este método na SIEPI para utilização com os seus clientes. Através de respostas rápidas, o cliente pode entender a necessidade de alteração ou não do tipo de manutenção que tem destinado ao seu equipamento.

Tabela 5.2- Pontuação através do método *Ipinza* [50]

Cliente:_____		Equipamento:_____	
Critérios para seleção da política de manutenção			
Característica	Condição	Pontuação	Escolha
Efeito na produção	Pára	4	
	Reduz	2	
	Não pára	0	
Valor técnico-económico do equipamento	Alto	4	
	Médio	2	
	Baixo	1	
Prejuízo- à máquina em si	Sim	2	
	Não	0	
Prejuízo- ao processo	Sim	3	
	Não	0	
Prejuízo- ao pessoal	Risco	1	
	Sem risco	0	
Dependência Logística	Estrangeiro	2	
	Local	0	
Dependência de mão-de-obra	Terceiros	2	
	Própria	0	
Probabilidade de avaria (fiabilidade do equipamento)	Alta	1	
	Baixa	0	
Facilidade de reparação	Alta	1	
	Baixa	0	
Flexibilidade e Redundância	Simples	2	
	By-pass	1	
	Dupla	0	
		TOTAL:	

Tabela 5.3- Classificação através do método *Ipinza* [50]

Nº de pontos	Necessidade de aplicar manutenção preventiva:	Aplicar
19-22	Crítica	Manutenção preventiva
13-19	Importante	Manutenção preventiva
6-13	Conveniente	Manutenção reativa
0-6	Opcional	Manutenção reativa

Pretende-se que o cliente quando se dirige à SIEPI para proceder ao levantamento do seu equipamento, possa responder a este pequeno questionário de modo a que os técnicos possam avaliar a melhor solução em termos de manutenção. Com isto pretende-se incutir naqueles clientes mais renitentes novos métodos de manutenção.

5.4.2. Organização do plano de manutenção preventiva

Considera-se que a elaboração do plano de manutenção preventivo é para uma empresa onde não seja realizado qualquer registo ou avaliação histórica dos equipamentos utilizados. É necessário: fazer um levantamento do(s) equipamento(s), verificar onde será efetuado o processo de manutenção preventivo; tomar nota do histórico dos equipamentos tendo em conta os custos associados à manutenção, tempos de paragem, produção e falhas; definir os procedimentos para a manutenção preventiva com intervalos entre inspeções; apresentar o plano de manutenção aos responsáveis da empresa e fornecer treino à equipa de manutenção.

As informações retiradas da implementação do plano de manutenção preventiva devem ser processadas e armazenadas.

Os equipamentos devem ser identificados e codificados em relação à posição dentro de uma dada secção. Cada equipamento deve ter um arquivo próprio onde serão colocadas todas as informações. Deve existir um sistema de codificação de peças para facilitar em situações de reparação. Cada equipamento deve ter também, uma ficha, onde se encontram reunidas todas as informações que lhe dizem respeito.

O levantamento das partes que constituem o equipamento e que estão sujeitas a falha, bem como a periodicidade de intervenção é o primeiro passo para estabelecimento de manutenção preventiva. Isto normalmente é uma parte inerente da ficha de manutenção de cada equipamento [51].

5.4.3. Instruções para manutenção preventiva

Normalmente as instruções de manutenção para os motores elétricos e redutores de velocidade são fornecidas através dos fabricantes. Consultando os catálogos dos respectivos produtos é possível determinar as tarefas e os intervalos de manutenção a realizar.

Para o motor elétrico e consultando os catálogos da marca *Guanglu* não foi possível encontrar quaisquer instruções para se realizar manutenção preventiva. Para os redutores de parafuso-sem-fim, o seu fornecedor *STM*, indica alguns procedimentos e intervalos para a realização de inspeções periódicas. Para melhorar e obter mais indicações de manutenção foram utilizados outros fornecedores do mesmo tipo de equipamentos, tanto para os redutores como para os motores elétricos.

Para os motores elétricos utilizou-se um conceituado fabricante deste tipo de equipamentos, a *WEG*. As instruções de manutenção para os motores elétricos encontram-se na tabela 5.4.

Tabela 5.4- Instruções de manutenção para motores elétricos trifásicos- adaptado de [52]

Instruções de manutenção – Motores de indução trifásicos					
Intervalos de inspeção					
Componente	Diariamente	Semanalmente	De 3 em 3 meses	Anualmente	A cada 3 anos
Motor completo	Ruídos, vibração e temperatura	Ruídos; vibração, temperatura e limpar as alhetas de refrigeração	Se existir drenar a água condensada	Reapertar todos os parafusos	Desmontar todo o motor e inspecionar todas as partes
Enrolamento do rotor e estator				Inspeção visual e medir a resistência de isolamento	
Rolamentos	Ruído	Lubrificar se indicado no motor			Limpeza e substituição se necessário
Caixa de ligações				Limpeza e reapertar os parafusos e substituir a fita isolante se necessário	Limpeza e reapertar os parafusos e substituir a fita isolante se necessário
Alimentação		Verificar o equilíbrio da tensão e da corrente			
Ventilação		Limpar a tampa de ventilação	Verificar o estado de conservação das pás		Verificar o estado de conservação das pás

Tabela 5.4-Instruções de manutenção para motores elétricos trifásicos (continuação)

Instruções de manutenção -Motores de indução trifásicos					
Intervalos de inspeção					
Componente	Diariamente	Semanalmente	De 3 em 3 meses	Anualmente	A cada 3 anos
Acoplamento		Após a primeira semana de funcionamento verificar o alinhamento		Verificar alinhamento e fixações	Verificar alinhamento e fixações
Equilibragem					Verificar a equilibragem do rotor

Para as instruções de verificações periódicas para os redutores de velocidade utilizou-se os elementos disponibilizados pela *STM* e por outro fabricante, a *SEW*. Essas verificações periódicas encontram-se na tabela 5.5.

Tabela 5.5- Instruções de manutenção para redutores de velocidade- adaptado de [53][23]

Instruções de manutenção – Redutores de velocidade			
Intervalos de inspeção	Ações a executar		
Diariamente	Ruídos	Vibrações	
Mensalmente	Temperatura do cárter	Nível do lubrificante	Verificar fugas de lubrificante
De 6 em 6 meses	Estado do lubrificante	Inspeção aos retentores e juntas	Verificar sinoblocos se existirem
Anualmente	Inspeção completa ao redutor		
De 3 em 3 anos (dependendo da temperatura do óleo)	Substituir o lubrificante mineral	Substituir a massa dos rolamentos	Substituição dos retentores
De 5 em 5 anos (dependendo da temperatura do óleo)	Substituir o lubrificante mineral	Substituir a massa dos rolamentos	Substituição dos retentores
Variável	Renovar a pintura anticorrosiva	Limpeza externa ao redutor	

A renovação da pintura anticorrosiva e a limpeza externa do redutor estão quantificadas como atividades de evento temporal variável visto estarem dependentes do estado do equipamento e dos agentes exteriores que atuam sobre o redutor.

A mudança do lubrificante está diretamente relacionada com o tipo de lubrificante utilizado e com a temperatura a que este normalmente se encontra durante o funcionamento do redutor. Para esse controle de precisão de mudança do lubrificante é necessário existir um controle da temperatura.

Além dos intervalos de mudança de lubrificante, é sugerido que para os redutores que utilizam lubrificante mineral se faça uma substituição do óleo entre as primeiras 500 a 1000 horas de funcionamento. Para redutores que sejam entregues aos clientes com lubrificação “para a vida operativa”, este nunca necessita de ser trocado. Isto é válido se a temperatura de funcionamento for abaixo dos 60°C (tabela 5.6) [53].

Tabela 5.6 – Frequência de mudança do lubrificante [53]

Tipo de lubrificante	Gama de temperaturas de funcionamento	
	<60°C	60-90°C
Mineral	4000 Horas	2500 Horas
Sintético	Toda a vida útil do redutor	10000 Horas

A *STM* fornece no seu catálogo de manutenção os períodos de vida dos lubrificantes, tendo em conta gama de temperaturas a que estes podem funcionar. O óleo sintético que é considerado como tendo uma vida infinita necessita de ser substituído passadas 10000 horas de funcionamento do redutor. Quanto maior for a temperatura de funcionamento do redutor maior a necessidade de intervenções periódicas no lubrificante.

A *SEW* fornece aos seus clientes, para os redutores de velocidade, um gráfico (figura 5.11) onde através da temperatura de funcionamento do lubrificante se pode determinar a sua vida útil e consequente intervalo de substituição.

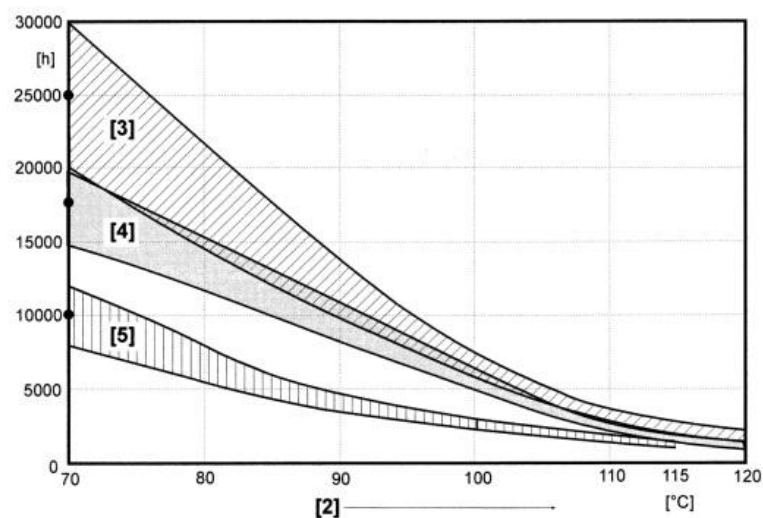


Figura 5.11- Vida útil do lubrificante em função da temperatura de funcionamento [23]

5.4.4. Ficha de manutenção preventiva para moto-redutores

A ficha de manutenção preventiva vai ser executada tendo em conta o tipo de equipamentos que a Siepi mais comercializa. Para o efeito será utilizado um motor elétrico assíncrono trifásico da marca *Guanglu* de quatro polos. A este motor é acoplado um redutor de velocidade do tipo parafuso-sem-fim da marca *STM*. O acoplamento entre o motor elétrico e o redutor é feito diretamente e o redutor tem um veio acoplado na saída, como meio de ligação a eventuais elementos para transmissão de potência.

Em **anexo F** encontra-se a ficha de manutenção preventiva efetuada. Encontra-se dividida em 3 partes principais, visto ter sido elaborada para moto-redutores. Na primeira parte encontram-se as informações necessárias a preencher sobre a empresa, o equipamento em questão o seu código; função a desempenhar; o fornecedor do equipamento; a importância que este equipamento tem para a empresa e outros campos a preencher pelo funcionário responsável da manutenção. A inclusão de um campo em que se pede o preenchimento da importância do equipamento, implica que se compreenda o valor deste para a produção e empresa para avaliações em situações de racionamento da manutenção.

Na segunda parte da ficha encontram-se as inspeções que foram equacionadas para os motores elétricos de indução trifásica. É solicitado mais uma vez o preenchimento de campos como a data de início das inspeções do equipamento bem como a versão desta parte da ficha, visto que irá existir mais do que uma versão como o avanço temporal das inspeções.

As inspeções diárias encontram-se separadas das outras, pois existe necessidade de maior espaço de preenchimento de dados, para este tipo de avaliação. As restantes inspeções a efetuar são de periodicidade semanal ou superior pelo que se utilizou uma calendarização em **cronograma** com base semanal que abrange um ano de serviço do equipamento. Será então necessário efetuar mudanças de ficha anualmente, e com isto transferir informações de versão para versão. Para o caso de reparações com periodicidade superior a um ano é necessário incluir no campo de análise específico dessa avaliação o ano e mês em que vão ser efetuadas. No final de todas as inspeções existe um campo de preenchimento onde é solicitado a colocação dos elementos substituídos e a respetiva data.

Para os redutores de velocidade, o esquema de preenchimento é exatamente o mesmo sugerido para os motores elétricos. Para o lubrificante é solicitada a marca do mesmo, bem como o seu tipo e a data em que foi admitido ao redutor. Com isso, e através da temperatura média de funcionamento do redutor, é possível quantificar a data de mudança do lubrificante. As ações de pintura e limpeza exterior do equipamento são deixadas ao critério do técnico de manutenção, visto serem dependentes das condições ambientais e envolventes em que os equipamentos trabalham.

5.5. Sistema de monitorização preditivo com monitorização de condição

Apesar das vantagens da manutenção preditiva com monitorização, descritas no subcapítulo 4.1, o preço da aquisição dos equipamentos limita a sua ampla implementação nos equipamentos industriais. Além disso e como foi descrito no mesmo subcapítulo, a interpretação e análise dos dados necessita de operadores altamente qualificados e treinados para o efeito.

Devido às referidas limitações foi desenvolvida uma proposta de um sistema de monitorização de condição para um moto-redutor com custo de construção e aquisição de sensores reduzido. A proposta desenvolvida tem também como base a facilidade de interpretação dos dados monitorizados não sendo necessário a existência de técnicos altamente especializados.

O objetivo foi monitorizar as condições de funcionamento de um redutor de velocidades sujeito a carga radial sobre o seu veio de saída. Para esse efeito, foi necessário uma solução que permitisse a aplicação de uma carga radial constante sobre o veio de saída do redutor enquanto este se encontrasse em funcionamento.

5.5.1. Bancada de ensaios

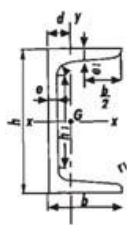
A solução encontrada para os testes que se pretendem executar passou pela construção de uma bancada de ensaios onde o motor elétrico e o redutor sejam fixos, e este último pudesse sofrer um esforço radial.

Este esforço radial que se pretendia realizar deparou-se com o facto de que, em condições de má montagem de engrenagens, carretos ou polias no veio de saída do redutor, podiam verificar-se esforços radiais, pelo que é de extrema importância a análise do comportamento dos elementos que constituem o redutor [54].

5.5.1.1. Estrutura base

A estrutura base para acoplamento do moto-redutor foi construída em aço de construção corrente **Fe 360**.

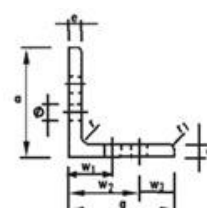
A estrutura para a base é constituída por três perfis UPN. Um perfil UNP 140 e 2 perfis UNP 80. Os perfis escolhidos encontram-se esquematizados na figura abaixo:



Designação do perfil	Medidas mm					A cm ²	M Kg / m	Mom. Inércia cm ²	
	h	b	e = r	r1	h1			Ix	Iy
UPN 80	80	45	6,0	4,0	46	11,0	8,65	106	19,4
UPN 140	140	60	7,0	5,0	98	20,4	16,0	605	62,7

Figura 5.12- Perfil utilizado [55]

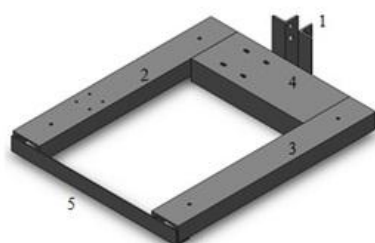
Na mesma estrutura foram colocadas 3 cantoneiras. Uma cantoneira de reforço da estrutura base e duas cantoneiras a realizar a função de ponto de apoio para a alavanca. As três cantoneiras têm as dimensões da figura abaixo:



Dimensões							Massa	Posição do centro de gravidade			Flexão Momentos de inércia	
L NP (abas iguais)								d	V _i	Z _i	I _x =I _y	I _x
axe mm	r mm	r _i mm	W _i mm	W _i mm	W _i mm	Ø mm	p Kg/m	cm	cm	cm	cm ⁴	cm ⁴
40x5	6	3	22	-	-	11	2,97	1,16	1,64	2,83	5,43	8,60

Figura 5.13- Perfil das cantoneiras [55]

A estrutura na sua forma final, bem como a respetiva furação necessária para fixação dos pés antiderrapantes e do moto-reductor encontra-se esquematizada na figura seguinte. Esta foi projetada, recorrendo à utilização do programa *Solidworks* 2010.



Nº do componente	Descrição	Código do desenho técnico	
1	Cantoneira para alavanca	1.01E	1.01D
2	Viga lateral da base	1.02	
3	Viga lateral da base	1.03	
4	Viga da base	1.04	
5	Cantoneira de reforço	1.05	

Figura 5.14- Estrutura base

Em **anexo G** encontram-se os desenhos técnicos de todas as estruturas dimensionadas, que perfazem o conjunto estrutura base. O desenho técnico de montagem da estrutura base tem o código 10.01. Fotos do equipamento na sua configuração final podem ser encontradas no **anexo H**.

5.5.1.2. Alavanca

Foi dimensionada uma alavanca (figura 5.15) que utiliza como ponto de fixação a dupla cantoneira da estrutura base. Foi dimensionada com o intuito, da colocação de diversas cargas sobre uma das suas extremidades e multiplicação desse esforço sobre o veio do redutor. A alavanca foi dimensionada conforme especificado na figura seguinte e utilizando o mesmo material da estrutura base. A furação foi efetuada em outros pontos da barra, caso fosse necessário outros pontos de fixação. Em **anexo G** encontram-se também os desenhos técnicos de dimensionamento da alavanca e o respetivo desenho conjunto. O desenho de conjunto da alavanca tem o código 30.01.

De modo a obter um reforço da estrutura, a alavanca é constituída por duas barras iguais. Estas são acopladas mediante a utilização de parafusos, porcas e anilhas. No ponto A, ponto de rotação da alavanca, o acoplamento é feito da mesma forma mas utilizando também um espaçador entre as barras feito em aço. Este espaçador mantém sempre a distancia constante entre as barras. No ponto B colocou-se um rolamento de esferas com referência 6301 2RS da marca *ISB*. Este promove a rotação livre do veio do redutor quando este se encontra sujeito a esforços radial. A colocação e variação da carga aplicada sobre o veio da redutora é efetuada através de pesos de halterofilismo. Os pesos são colocados através de um gancho acoplado a uma corrente, sobre o ponto C.

O baricentro da estrutura, na sua configuração final, foi obtido através do programa *Solidworks* 2010.

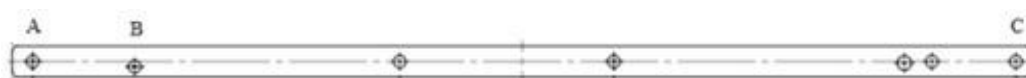


Figura 5.15- Alavanca

5.5.1.3. Placa do variador

Para a utilização de um variador de frequência, foi dimensionada uma estrutura simples em chapa quinada para aprovisionar o variador de frequência e um interruptor de corte do fornecimento de energia elétrica ao variador. Assim pode-se efetuar uma rápida e segura paragem do sistema em caso de emergência. No **anexo G** encontra-se também o desenho técnico desta placa com o código 2.01.

5.5.2. Equipamentos utilizados

Para os testes a realizar foi utilizado um moto-redutor constituído por um motor elétrico trifásico, rotor de gaiola e um redutor de velocidades do tipo parafuso sem fim. O acoplamento entre os dois equipamentos foi efetuado diretamente, através dos flanges dos respetivos equipamentos (B14).

Para além dos equipamentos utilizados anteriormente, utilizou-se um variador de frequência para controlar os arranques e paragens do motor elétrico.

O motor elétrico trifásico assíncrono da marca *Guanglu* tem 0.18 kW de potência mecânica, carcaça em alumínio de grandeza 63 com 4 polos, flange B14 e pertence à classe energética IE1 (rendimento *standard*). O motor elétrico tem a denominação de “GL 63M2-4” (figura 5.16) e as suas principais características técnicas podem ser retiradas do catálogo do fornecedor:

Tabela 5.7- Dados técnicos do motor elétrico [56]

Tipo	Potência		Corrente (A)			Frequência (Hz)	Rendimento η (%)
	kW	hp	380V	400V	415V		
GL 63M2-4	0,18	0,25	0,62	0,59	0,56	50	60,00

A ligação elétrica do motor foi feita em triângulo pelo que observando a placa do motor elétrico, pode-se concluir que, para esse esquema de ligação, a sua rotação nominal é de 1310 rpm.



Figura 5.16-Placa do motor elétrico

Devido ao elevado escorregamento que este motor possui, a sua velocidade de rotação é apenas de 1310 rpm. Na impossibilidade de comprovação deste real valor de velocidade através de um aparelho próprio (tacómetro), considerou-se este valor de velocidade como, a velocidade de referência do veio do motor.

Ao motor elétrico foi acoplado um redutor de velocidades. Selecionou-se como equipamento de eleição deste ensaio, um redutor de parafuso-sem-fim. Foi utilizado para os ensaios, um modelo da marca italiana *STM*, modelo **WMI**. Das configurações possíveis para este redutor adotou-se o modelo **WMI** ao invés do **WI**. Este possui flange de entrada para acoplamento

ao motor elétrico. O equipamento tem grandeza 40, com flange B14 e relação de transmissão de 1/30.

A este tipo de redutores é-lhes administrado de fábrica lubrificante sintético *Shell Omala S4 WE* [57].

O veio do motor possui uma chaveta que acopla ao furo da entrada da redutora que é escatelado. Este tipo de uniões é bastante utilizado na indústria, sobretudo em transmissão de grandes potências, mas não permite qualquer tipo de desalinhamento [20]. O veio de saída colocado no redutor é o elemento mecânico que sofre o carregamento por parte da alavanca. Para esse efeito colocou-se um veio de saída fornecido pela marca *STM* conforme esquematizado na figura seguinte.

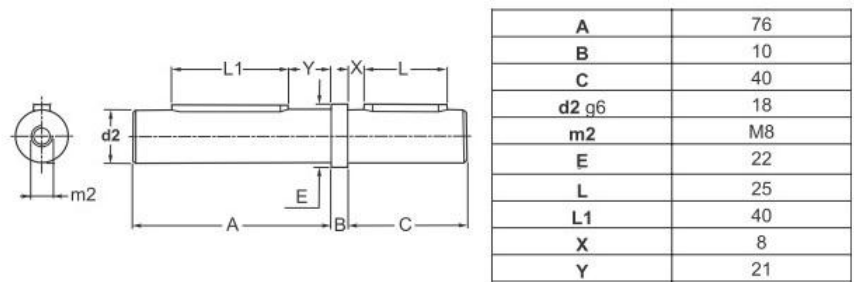


Figura 5.17- Veio de saída do redutor

Ao veio lento foi acoplado um *taperlock*, ou também denominado casquilho cónico. Este casquilho permite um acoplamento rápido e simples de elementos a veios. É bastante utilizado para fixação de polias, carretos e acoplamentos elásticos. Foi utilizado um casquilho da marca *SATI* com a denominação de **1008** [58]. O acoplamento do casquilho ao veio é feito através da chaveta do veio e mediante o aperto através de pontos. No *taperlock* foi colocado uma polia em **ABS** (figura 5.18) com um diâmetro exterior de aproximadamente 64mm. Com a utilização da polia pretende-se deste modo, evitar o contacto direto em materiais com elevadas durezas diminuindo o risco de danificação no rolamento da alavanca e redução de ruídos bem como vibrações indesejáveis no sistema.



Figura 5.18- Polia e taperlock

Para além da utilização do moto-redutor, juntou-se ao sistema, um variador de frequência. É um equipamento amplamente utilizado na indústria mundial. Possibilita reduzir ou aumentar a velocidade de rotação do motor elétrico. Permite uma poupança de energia por parte do motor elétrico, aumentando o seu desempenho pois adapta a velocidade às necessidades do utilizador. Elimina picos de corrente no arranque, diminuindo assim a ocorrência de avaria e necessidades de manutenção [59]. O variador de frequência evita também choques mecânicos, que podem ocorrer na aceleração dos equipamentos quando o arranque é em estrela-triângulo atuando como reguladores do binário nesta fase. É também possível através de um variador alterar o sentido de rotação do motor elétrico[14]. O variador de frequência oferece proteção térmica ao motor; protege-o contra picos de tensão e desequilíbrio de fases. Permite também ligar motores elétricos trifásicos a corrente monofásica. O variador de frequência tem diversas proteções e indicadores de falha que protegem o equipamento e avisam o operador de alguma anomalia. Existem diversos códigos de falha que vão desde avisos para sobretensão e corrente como subtensão, falhas de sistema, falha à terra entre outras [60].

Devido a todas as vantagens da utilização deste tipo de equipamentos foi utilizado um variador de frequência da marca *Vacon*. O modelo escolhido é um variador de frequência **AC Vacon 10**. A potência escolhida para o variador de frequência é de 0.5 cv. Este modelo de variador possibilita acoplar à sua placa frontal uma placa de comunicação. A utilização da placa de comunicação disponibiliza funções de controlo e monitorização do motor elétrico. Essa monitorização e controle são efetuados através de um *software* próprio para o computador, sendo a comunicação efetuada através de *USB*.

5.5.3. Sensores de monitorização

Pretende-se efetuar a monitorização da vibração gerada pelo redutor em diversas situações de carga radial aplicada no veio e obter valores de leitura da evolução da temperatura do lubrificante ao longo das mesmas situações de carga. Sendo o lubrificante um componente essencial na vida útil de um redutor considerou-se fundamental a obtenção de leituras da temperatura do óleo.

Para o motor elétrico utilizou-se um variador de frequência com placa de controlo para monitorização das condições de funcionamento.

A escolha dos equipamentos para a monitorização dos componentes teve por base soluções com um custo económico reduzido.

5.5.3.1. Medição da temperatura do lubrificante

Sendo a lubrificação neste tipo de redutores efetuada por um misto entre chapinhagem e banho de óleo utilizou-se uma sonda **RTD PT 100**. **RTD** são sensores, constituídos por materiais em que a sua resistência interna aumenta com o aumento da temperatura [61]. **PT 100** tem uma resistência de 100 ohms a 0 °C e 138,4 ohms a 100°C e a sua exatidão é de ± 0.15 °C [62]. De modo a ser possível colocar a sonda no ambiente de leitura foi efetuado um furo no bujão de admissão do óleo. A sonda foi então colocada através do bujão, o qual foi colocado na carcaça da redutora. Foi colocado um vedante próprio para não existir vazamento de lubrificante entre o bujão e a sonda. Foi medida a distância de sonda que era possível imergir na redutora, de modo a que não existisse qualquer espécie de contacto com o sem-fim, sendo esse comprimento de 9,5 mm. O contacto durante o funcionamento do sistema poderia danificar a sonda e comprometer as leituras de temperatura. Na figura abaixo é possível visualizar a referida sonda.



Figura 5.19- Sonda de monitorização da temperatura do lubrificante

Na figura 5.20 é possível verificar a montagem da sonda de medição da temperatura no redutor.



Figura 5.20- Colocação da sonda de temperatura no redutor

Para medição das alterações do valor da corrente, devido a alterações do valor da resistência resultantes da variação da temperatura, utilizou-se um transmissor de variação do valor da corrente no intervalo de 4 a 20 mA. Isto permite obter valores de temperatura de 0 a 100°C. O transmissor foi ligado diretamente a uma entrada analógica do variador de frequência de modo a ser possível analisar a evolução da temperatura ao mesmo tempo que se visualiza os parâmetros do motor elétrico.

Tendo em vista a necessidade de comprovação e validação de leitura de temperaturas por parte da sonda, efetuou-se o teste do ponto de gelo. A um copo de plástico adicionou-se água em pouca quantidade e diversas pedras de gelo e misturou-se. Ao mergulhar a sonda de temperatura na mistura obteve-se uma temperatura de 1,5°C. Assim sendo toma-se esse valor como erro possível de leitura por parte do equipamento.

$$T_{sonda} = T_{leitura} \pm 1,5^{\circ}C \quad (5.1)$$

5.5.3.2. Medição de vibrações

Das demais opções que o mercado de sensores oferece para soluções de manutenção preditiva, e sabendo a real importância da análise de vibrações para monitorização das condições de funcionamento dos equipamentos optou-se por uma solução diferente. Tendo em conta que se pretende uma monitorização do equipamento mediante uma solução com menores custos económicos, rejeitou-se a ideia de adquirir um equipamento já previamente concebido para a análise de vibrações de um redutor de velocidade e procurou-se uma solução um pouco diferente.

Para o efeito adquiriu-se um sensor da marca *Sensolute* com o código MVS0608.02. Este micro sensor de vibração é utilizado para a deteção de movimentos leves e vibrações. É omnidirecional, sendo o seu funcionamento independente da orientação escolhida para a colocação do sensor [63].

Como resultado da utilização de apenas, um sensor para a análise de vibrações a escolha do local de fixação é de extrema importância. Tomou-se como melhor localização para colocação do sensor (figura 5.21) uma região o mais próxima possível do centro do veio da roda de coroa. De modo a evitar qualquer pancada e consequente possível destruição do sensor durante os testes de monitorização do equipamento optou-se pelo flange oposto ao veio de saída da roda de coroa.



Figura 5.21- Colocação do sensor de vibração no redutor

5.5.4. Aquisição de dados

Pretendendo-se utilizar a placa de som do computador para leitura dos dados retirados do sensor de vibração, utilizou-se uma ligação entre o sensor e a placa através do microfone do computador. Para receção dos sinais gerados pelo sensor foi efetuada uma ligação através de um fio elétrico soldado a um conector **TRS** (figura 5.22) de 3.5 mm. Este conector é utilizado para transmissão de sinais analógicos, tais como sinais de áudio. O conector utilizado é usado para sinais estéreo, tendo portanto dois canais. Visto apenas ser sido utilizado um sensor de vibração, foi apenas efetuada a ligação do fio elétrico a um dos canais disponíveis. Na figura seguinte encontra-se o cabo elétrico e respetiva ligação efetuada ao conector **TRS**.



Figura 5.22- Conector e respetivo cabo de ligação

A aquisição dos sinais gerados pelo sensor de vibração é efetuada pelo microfone da placa de som. O conector **TRS** é conectado ao microfone do portátil e assim são adquiridos os sinais gerados. O sistema de som do computador utilizado para a realização destes testes é integrado e proporciona o suporte necessário para o microfone e as respetivas colunas do equipamento.

As placas de som são equipamentos concebidos para gerar áudio em computadores. São conversores **ADC** e **DAC**. Na aquisição dos sinais gerados pelo sensor de vibração, a placa de som

adquire os sinais através do microfone e o conversor **ADC** converte o sinal analógico em digital. A maioria das placas de som disponíveis no mercado tem resoluções de 16,32 ou 64 *bits*. Normalmente os equipamentos vêm com dispositivos em que a sua resolução é de 16 *bits* sendo estes suficientes para reproduzir os sons com elevada qualidade [64].

Uma placa de som *Sound Blaster* de 16 bits fornece ao utilizador duas opções de aquisição de dados. Este pode ser mediante o microfone ou *line input*. A entrada de aquisição de dados a partir do microfone, apenas permite a utilização de 1 canal, ao passo o *line input* permite utilizar 2 canais (stereo). O *line input* e o microfone podem ser utilizados para medir variações no tempo de tensão na gama de valores dos 10 mV a 1V. Estas medições são efetuadas mediante programas disponíveis [65]. Como resposta de frequência, a maioria das placas situa-se no intervalo de valores entre os 20Hz e 20KHz.

5.5.5. Programa para a análise de vibrações

Pretendendo-se com esta aplicação, a utilização da placa de som para obter os sinais elétricos gerados pelo sensor de vibração é necessário um programa para interpretar os valores obtidos. A maioria dos osciloscópios que existem no mercado tem um custo demasiado elevado. Com a utilização desta solução que tem sido descrita os custos são reduzidos substancialmente. Dos demais osciloscópios que podem ser encontrados na internet, e depois de terem sido experimentados bastantes programas escolheu-se o *Scope*. O *Scope* (figura 5.23) é um “código” gratuito criado por Andri M. Gretarsson para o programa *Labview*. A escolha de um osciloscópio gratuito garante que o processo de utilização deste tipo de monitorização para redutores de velocidade pode ser utilizado de um modo mais abrangente.

O programa *Scope* é um *software* que inclui três instrumentos utilizados em laboratório. Estes são o osciloscópio, gerador de sinais e a análise espectral. O *Scope* é *software* para ser utilizado com o microfone ou com o *line input*. Para os testes de monitorização que se pretendem efetuar a função de gerador de sinal não tem interesse. O *software* tem também a possibilidade de gravação do sinal gerado para posterior análise. Esta função não foi também utilizada visto que se pretende uma monitorização *on time* das condições de funcionamento do redutor.

Para os instrumentos disponíveis no programa existem diversos parâmetros bastante uteis para se realizarem as análises pretendidas. Podem ser colocados filtros para filtragem do sinal da amostra. Estes podem ser para passagens baixas ou altas, passagens de banda ou corte de banda. O filtro de banda apenas passa o intervalo de frequência selecionada e atenua as restantes. Os dados obtidos no osciloscópio são a amplitude em função do tempo. O tempo encontra-se representado no eixo do y e a amplitude no eixo do x. No *spectrum analyzer* é mostrado o resultado obtido através da análise de Fourier. A análise de Fourier é efetuada com base na amostragem requerida, sendo normalmente utilizado 44100 S/s. A resposta, bem como a frequência obtida, pode ser apresentada

em escala logarítmica ou linear. Normalmente, a resposta deve ser apresentada em escala linear [66]. A escala linear torna mais simples a análise visto aumentar os resultados, mas torna difícil a interpretação de valores de menor intensidade por os desprezar. A sua utilização é adequada nos casos em que frequências geradas têm a mesma amplitude. A escala logarítmica evidencia a presença de frequências menos expressivas [67]. A obtenção dos resultados pode ser efetuada com valores retirados em tempo real ou através de um valor médio. Este valor médio pode ser obtido para uma amostra compreendida entre 1 e 9999. Para além do referido anteriormente, o *spectrum analyzer* possibilita obter resultados em **RMS**; **Vector**, e **Pk. Hold** [66]. Na figura seguinte encontra-se interface do programa utilizado.

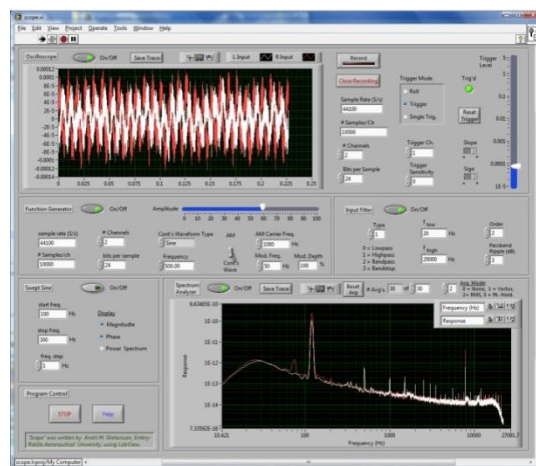


Figura 5.23- Programa Scope [66]

De modo a validar o programa *Scope* utilizou-se um ficheiro de som com uma frequência de 1000Hz. A utilização desse ficheiro permitiu comprovar que o espectro de frequência identificava a frequência gerada. A captação foi efetuada apenas com o microfone do computador.

5.5.6. Programa *Vacon live*

O programa *Vacon live* é uma ferramenta específica de receção dos dados obtidos através do variador de frequência e monitorização de diversos parâmetros do motor elétrico. A monitorização das condições de funcionamento é efetuada em tempo real e visualizada sob a forma de evolução gráfica (figura 5.24). A leitura de falha no equipamento é apresentada ao operador em caixa de amostragem própria. É possível selecionar condições de referência para o funcionamento dos equipamentos, dentro das quais se pode destacar o tempo de aceleração e desaceleração do motor elétrico e corrente máxima de alimentação ao motor para evitar danos irreparáveis nos enrolamentos. É também possível alterar a velocidade (frequência) de funcionamento do motor elétrico. Para a monitorização em tempo real das condições de funcionamento podem ser

escolhidos diversos parâmetros de monitorização. Estes parâmetros podem ser observados e avaliados pelo operador através de um gráfico que mostra a evolução dos parâmetros no tempo. Dentro desses parâmetros que são possíveis de monitorizar destacam-se a frequência de funcionamento do motor elétrico; percentagem de potência que o motor necessita num determinado instante; potencial elétrico; corrente elétrica e o valor da temperatura do banho óleo através da entrada analógica que existe no variador de frequência. A entrada analógica 2, que foi a utilizada indica os valores de leitura em percentagem, o que devido à calibração da sonda para leituras de 0 a 100°C, indica sem conversão necessária o valor da temperatura do banho de óleo. Com isto consegue-se a apresentação, na totalidade de todos dados possíveis de monitorizar do motor elétrico, bem como os valores da temperatura do lubrificante do redutor.

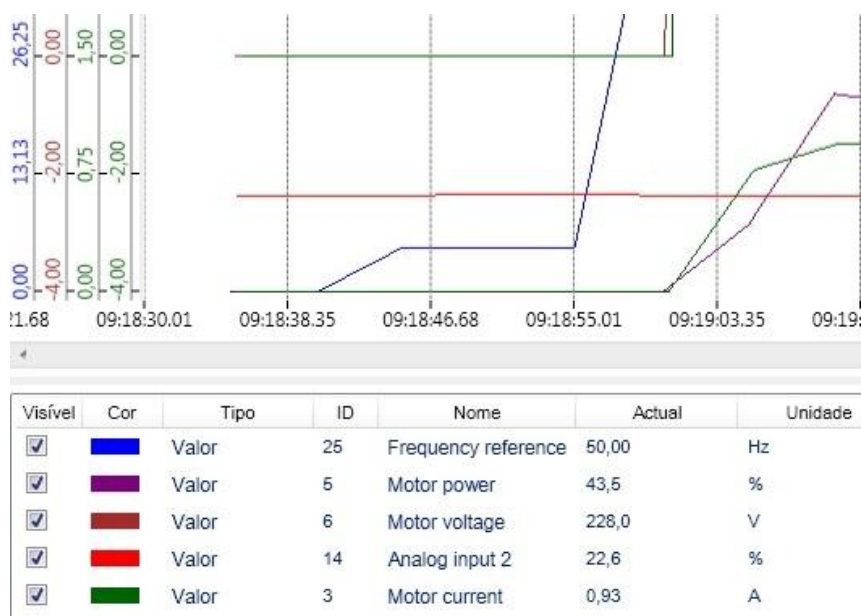


Figura 5.24- Programa vacon live

6. Monitorização do equipamento

6.1. Metodologia dos ensaios efetuados

Os testes de monitorização para o redutor de velocidades dividiram-se em análise de vibrações e monitorização da temperatura do óleo. Foram executados e monitorizados diversos testes com uma duração total de aproximadamente 69 horas. Essas horas de monitorização foram executadas em diversas etapas com diversos carregamentos.

Os primeiros testes foram executados sem carga, sendo posteriormente adicionados pesos à barra até perfazer uma massa total de 38 Kg. Foram retirados valores da resposta do equipamento durante as monitorizações em intervalos de tempo que se podem definir como aleatórios. A monitorização da vibração gerada pelo redutor foi sempre acompanhada pelo controle e interpretação dos valores da temperatura do óleo, bem como a monitorização de diversos parâmetros do motor elétrico. A monitorização da temperatura do lubrificante foi sempre acompanhada do controlo da temperatura ambiente através de um termómetro convencional.

Os parâmetros que foram monitorizados no programa *Vacon live* foram a frequência de funcionamento do motor elétrico; tensão; corrente e potência do motor. Como condições de funcionamento do motor, este foi sempre monitorizado para uma frequência de referência de 50Hz.

Os testes foram realizados com a bancada de ensaios colocada no chão, sem sofrer mudanças de posicionamento. Do programa *Scope* foram obtidos resultados em **RMS** e **Pk. Hold**. As leituras são obtidas sempre através de valores médios com 100 amostras. As escalas escolhidas foram logarítmica e linear para a frequência, e linear para a resposta. Com estas escolhas pretende-se monitorizar a evolução da resposta em determinadas frequências “chave” para tentar comprovar a existência ou iniciação de falha em algum componente constituinte do redutor e também tentar verificar o aumento da resposta em função do aumento de carga sobre a barra.

Foi utilizado um filtro de banda de 20 a 20000 Hz. Para o intervalo de frequências a monitorizar, optou-se por valores até 1000 Hz por não existirem frequências superiores a serem geradas para os componentes que constituem o redutor de velocidades.

Com a monitorização da temperatura do lubrificante pretendeu-se comprovar se a carga radial sobre o veio de saída iria ser responsável por um aumento da temperatura do lubrificante do redutor.

6.2. Principais frequências a visualizar no espectro de frequência

As principais frequências a analisar através deste método centraram-se no redutor de velocidade. Neste pretendeu-se visualizar as frequências geradas pelas engrenagens, veio e possíveis danificações em rolamentos.

6.2.1. Cálculo das principais frequências

Considerando que a rotação do veio do motor elétrico é a que vem indicada na chapa pelo fabricante, esta corresponde a 1310 rpm. A frequência de rotação do motor elétrico é uma grandeza física que indica o número de ocorrências (ciclos) num intervalo de tempo de 1 segundo e é medida em Hz. Desse modo a frequência de rotação do motor elétrico é:

$$f_{motor} = \frac{R_{motor}}{60} \Leftrightarrow f_{motor} = \frac{1310}{60} = 21,83 \text{ Hz} \quad (6.1)$$

Onde:

f_{motor} - frequência de rotação do motor

R_{motor} - corresponde ao número de rotações do motor elétrico por minuto

Sendo o acoplamento entre o motor elétrico e o redutor efetuado diretamente, a velocidade de rotação do eixo de entrada do redutor é igual à velocidade de rotação do motor elétrico:

$$f_{motor} = f_{e_{redutor}} = 21,83 \text{ Hz} \quad (6.2)$$

Onde:

$f_{e_{redutor}}$ - frequência de rotação do eixo de entrada do redutor (Hz)

Tendo o redutor de velocidades uma relação de transmissão de 1/30 pode afirmar-se que a frequência de rotação do eixo da roda de coroa:

$$f_{s_{redutor}} = f_{e_{redutor}} \times i_r \quad (6.3)$$

$$f_{s_{redutor}} = 21,83 \times \left(\frac{1}{30}\right) \Leftrightarrow f_{s_{redutor}} = 0,727 \text{ Hz} \cong 0,73 \text{ Hz}$$

Onde:

$f_{s_{redutor}}$ - frequência de rotação do eixo da roda de coroa (Hz)

i_r - relação de transmissão do redutor de velocidades

A frequência de rotação do eixo é igual à frequência de rotação da engrenagem que está acoplada a esse mesmo veio. Assim sendo a frequência de engrenamento através da equação (4.1):

$$f_{engr} = 30 \times 0,727 \Leftrightarrow f_{engr} = 21,83 \text{ Hz}$$

O cálculo das frequências de falha dos rolamentos foi efetuado através do calculador da *SKF*. Através da colocação da referência comercial do rolamento e escolha das velocidades de rotação do anel interior e exterior são determinadas as frequências de falha. Este calculador permitiu determinar a frequência de defeito da pista interna, externa e defeitos dos elementos rolantes que constituem o rolamento.

O redutor de velocidade escolhido para a referida monitorização utiliza três rolamentos de esferas diferentes. O sem-fim está acoplado aos rolamentos com a designação 6005 e 6203. A roda de coroa utiliza rolamentos com a designação 6006.

Para os rolamentos que se encontram acoplados ao sem-fim do redutor de velocidades:

$$n_i = 1310 \text{ rpm}$$

$$n_e = 0 \text{ rpm}$$

Onde:

n_i – velocidade de rotação do anel interno do rolamento (Hz)

n_e – velocidade de rotação do anel externo do rolamento (Hz)

Tabela 6.1- Frequências de defeito dos rolamentos do sem-fim [68]

Rolamento	6005	6203
f_{ip}	130 Hz	108 Hz
f_{ep}	88,7 Hz	66,7 Hz
f_{rp}	112 Hz	87,1 Hz

Onde:

f_{ip} – frequência de defeito da pista interna (Hz)

f_{ep} – frequência de defeito da pista externa (Hz)

f_{rp} – frequência de defeito dos elementos rolantes (Hz)

Para os rolamentos da roda de coroa do redutor:

$$\begin{aligned} n_i &= R_{motor} \times i_r = 43,33 \text{ rpm} \\ n_e &= 0 \text{ rpm} \end{aligned} \quad (6.5)$$

Tabela 6.2- Frequências de defeito dos rolamentos da roda de coroa [68]

Rolamento 6006	
f_{ip}	4,64 Hz
f_{ep}	3,3 Hz
f_{rp}	4,17 Hz

6.3. Ensaio efetuados

Na tabela seguinte encontra-se um resumo dos testes efetuados com os tempos de utilização dos pesos de halterofilismo. As 69 horas de monitorização foram distribuídas ao longo de 12 dias, tendo sido muitas vezes efetuados mais do que um ciclo de testes por dia. Foram efetuados 17 testes monitorizados.

Tabela 6.3- Testes efetuados

Nº do teste	Duração do teste (min)	Massa colocada (kg)	Carga aplicada no ponto C da alavanca (N)
1	87	0	0
2	62		
3	50		
4	58		
5	103	2	19,62
6	62	22	215,82
7	290		
8	133		
9	22	38	372,78
10	182		
11	485		
12	505		
13	298		
14	527		
15	230		
16	539		
17	511		

Como se pode verificar pelos dados que se encontram na tabela acima, a maioria do tempo monitorizado foi com uma massa de 38 Kg que perfizeram um total de 3299 minutos. Os 257 minutos utilizados sem carga serviram apenas para retirar dados de referência da resposta do redutor. Assim foi possível efetuar uma comparação das respostas no início e passadas as 69 horas de monitorização.

6.4. Apresentação de resultados

Os resultados apresentados para as monitorizações efetuadas ao equipamento dividem-se em análise às variações da temperatura mediante as diferentes cargas aplicadas ao veio e a vibração registada em diversos pontos seleccionados.

6.4.1. Vibrações do redutor

Foi criada uma linha temporal, de modo a explicitar os tempos de monitorização para as cargas aplicadas previamente definidas. Os pontos seleccionados correspondem, aos que foram considerados como os mais importantes. São apresentados os resultados obtidos para diversas situações.

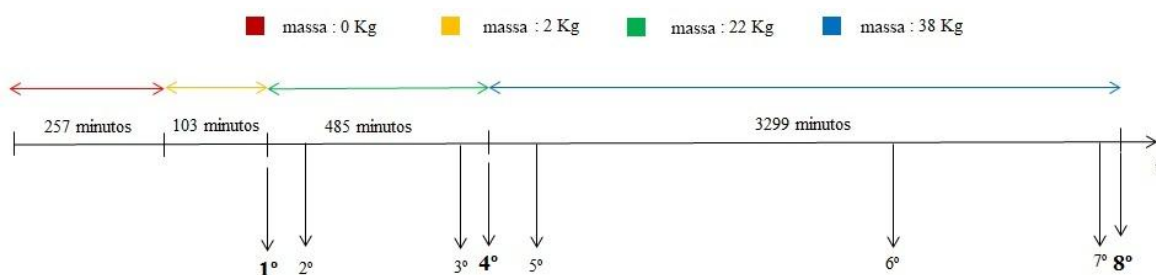


Figura 6.1- Linha de monitorização do equipamento

Os resultados retirados do programa *Scope* encontram-se em **anexo I**. Primeiro encontram-se os resultados obtidos para as situações em que os equipamentos se encontram desligados da corrente elétrica, não existindo portanto qualquer movimento de rotação do motor e redutor. Nesta situação apenas foi necessário manter o computador ligado à corrente elétrica para registo de dados. Estão também relatados os resultados obtidos na situação em que os equipamentos se encontram conectados à rede elétrica mas em *standby*.

As situações de funcionamento a 50Hz sem carga, também foram contabilizadas como tendo importância e também se encontram em **anexo I**.

As monitorizações compreendidas entre os pontos 1º e 4º da figura anterior correspondem a situações onde o redutor teve uma massa de 22Kg aplicado sobre a alavanca. Este intervalo de monitorizações corresponde a uma duração de 485 minutos e encontram-se em anexo os resultados obtidos nos pontos 2º e 3º. O ponto 2º corresponde a 169 minutos de duração de testes com a referida massa, enquanto que o ponto 3º a 479 minutos.

Os pontos 4º a 8º correspondem a um intervalo de 3299 minutos com 38 Kg aplicados sobre a alavanca. Encontram-se também em anexo as monitorizações efetuadas para os pontos 5º 6º e 7º. O ponto 5º corresponde a 4 minutos de funcionamento com a referida carga. Neste ponto o taperlock que se encontrava colocado no veio do redutor saiu da sua posição inicial, tendo sido

necessário proceder ao seu aperto. O 6º e 7º ponto de monitorização ocorrem respetivamente a 2238 e 2939 minutos de funcionamento com uma carga de 38 kgf.

Nos gráficos que se encontram em anexo estão indicados a frequência da rede e a de engrenamento. Estas indicações apenas se encontram nas situações onde existe rotação do redutor e somente nos gráficos em escala linear na frequência.

6.4.2. Monitorização da temperatura do lubrificante

Para a evolução da temperatura do lubrificante do redutor encontram-se em **anexo J** diversas figuras que traduzem a referida evolução. As situações apresentadas são: livre; 22Kg e 38Kg respetivamente. A apresentação dos resultados segue a ordem temporal das monitorizações efetuadas. Os gráficos das situações que o redutor não tinha qualquer massa aplicada ou 22kg foram efetuados para um intervalo de tempo considerado diminuto. Os gráficos, para a situação de 38kg, representam uma monitorização continuada no mínimo de 8 horas consecutivas.

As situações apresentadas não refletem o total de monitorizações efetuadas, pois não foi permitido ao lubrificante arrefecer de modo a aproximar-se o mais possível da temperatura ambiente em todas as monitorizações. Na tabela seguinte encontram-se o número total de testes efetuados, bem como a sua duração; carregamento; respetivas temperaturas do lubrificante e do ambiente. Assim sendo os testes indicados a vermelho não foram considerados válidos para futuras conclusões acerca da evolução da temperatura do lubrificante.

Tabela 6.4- Parâmetros dos testes à temperatura do lubrificante

Nº do teste	Duração (min)	Carga (kgf)	T_{oleoi} (°C)	T_{oleof} (°C)	T_{ambi} (°C)	T_{ambf} (°C)
1	87	0	23	48,8	21	23
2	62	0	29,1	49,7	21,5	23,5
3	50	0	32,3	50,8	23	25
4	58	0	24,9	47	22	23
5	103	2	29,5	50	23,6	24
6	62	22	36,5	50,8	24,4	24,3
7	290	22	19,5	48,9	21	23,2
8	133	22	21,4	48,6	21,8	22,8
9	22	38	28,2	-----	24,2	-----
10	182	38	36,6	54,4	24,8	25,9
11	485	38	24,7	55,3	24	28,3
12	505	38	26,5	56	25,1	28
13	298	38	22,7	51,2	23	24,7
14	527	38	19,4	54,2	21,1	25,4
15	230	38	26,4	54,2	24,8	25,9
16	539	38	21,1	54,9	21,2	25,3
17	511	38	20,6	54,1	20,5	26,1

Onde:

T_{oleoi} – temperatura inicial do lubrificante

T_{oleof} – temperatura final do lubrificante

T_{ambi} – temperatura ambiente inicial

T_{ambf} – temperatura ambiente final

Na tabela seguinte encontram-se para os testes considerados válidos, a temperatura média obtida para o conjunto de ensaios para um determinado carregamento.

Tabela 6.5- Valor médio das temperaturas obtidas

Nº do teste	massa (kg)	$T_{oleo_{media_f}}$ (°C)
1	0	47,9
4		
7	22	48,8
8		
11	38	54,3
12		
13		
14		
15		
16		
17		

Onde:

$T_{oleo_{media_f}}$ - Valor médio da temperatura final para as monitorizações do lubrificante, consideradas válidas

6.5. Discussão de resultados

6.5.1. Análise de vibrações

Os dados retirados para a análise de vibrações compreendem os pontos que foram considerados mais relevantes. A monitorização apresentada, para o sistema desligado da corrente elétrica e da fonte da alimentação, teve o objetivo de obter um padrão base dos ruídos que não foram filtrados e apareceram nos gráficos gerados. Pela análise das figuras **I.1** a **I.4** existe uma resposta do sensor a todas as frequências. A frequência de 50 Hz é facilmente identificável em qualquer um desses gráficos. Não estando o sistema em funcionamento nas referidas figuras, as frequências visíveis apenas podem traduzir ruído. A presença dessas frequências apenas se justifica com o ruído provocado pelo computador. Na situação em que o sistema se encontrava ligado, mas em *standby* as respostas às frequências de 50 Hz aumentaram consideravelmente em *RMS* e *PK*.

Hold. Nesta situação, a 1ª harmónica da frequência de rede a 100 Hz é superior à própria frequência da rede eléctrica. Isto aconteceu devido às perturbações geradas pelo variador de frequência. São visíveis também ao longo de todos os gráficos de resposta, harmónicas da frequência de 100 Hz, com valores de 200,300,400 e assim sucessivamente até o limite apresentado pelo gráfico de 1000 Hz. Estes valores foram sempre visíveis tanto em *RMS* como em *PK. Hold*.

Analisando as respostas dadas pelos gráficos para a situação em que o sistema motor-reductor se encontrava em funcionamento sem carga, existiram harmónicas da frequência de rede até ao limite máximo imposto pelo gráfico. Estas frequências múltiplas de 50 Hz só ocorreram quando o sistema se encontrou em funcionamento. Mais uma vez, devem-se à utilização do variador de frequência. Verificando os gráficos para o **ponto 2**, situação onde estavam aplicados sobre a barra uma carga de 22 kgf, não foi possível identificar um pico de frequência de engrenamento. As frequências de engrenamento que se encontram indicadas nos demais gráficos da demonstração de resultados não seguem um padrão válido. Os valores de resposta para os dois tipos de análise efetuada não seguiram o pressuposto do aumento da resposta com o aumento da carga sobre a barra.

No **5º ponto** da monitorização foi possível verificar um grande aumento do valor da resposta do sistema em *PK. Hold*. Neste ponto de monitorização, o *tapperlock* deslocou-se da sua posição original o que se traduziu em perturbações na rotação do veio. O gráfico de resposta em *RMS* neste ponto nada indicou como possível alteração ou falha no sistema.

Para os restantes pontos que são demonstrados para a situação de carga de 38 kgf não existiu nenhuma alteração significativa nas respostas das frequências.

Sendo a monitorização com a massa de 38 Kg sobre a barra a que teve mais tempo de testes efetuados, seria espectável visualizar-se uma diminuição do valor da resposta da frequência de engrenamento visto existir um período de amaciamento dos componentes do reductor. Isto não aconteceu, pois a tendência de diminuição da resposta alternou com aumentos.

A carga máxima utilizada pode não refletir o máximo de esforço dinâmico a que os rolamentos da roda de coroa podem sujeitos pelo que nada foi identificável no espectro de frequência. Também é necessário mencionar que as frequências de avaria, calculadas para os rolamentos do canhão da roda de coroa, se encontram bastante abaixo do que seria possível de interpretar com este método, já que os defeitos possíveis nos rolamentos geram frequências muito abaixo dos 20 Hz. Para as frequências de defeito dos restantes rolamentos nada foi registado no espectro de frequência.

Para a análise de vibrações a escolha do tipo de reductor influenciou os resultados obtidos, pois a relação de transmissão escolhida acabou por ser responsável pela igualdade da frequência de engrenamento e a frequência de rotação do sem fim. A escolha de outra relação de transmissão iria alterar a configuração do número de entradas do sem-fim e o próprio número de dentes da roda de coroa. A escolha de uma relação de transmissão mais baixa da ordem de 1/7,5 iria fazer com que a

velocidade de rotação do eixo de saída aumentasse bem como a frequência de engrenamento. Se a frequência de rotação da roda de coroa fosse superior iria criar frequências de falha bastante superiores. Por outro lado a diminuição da relação de transmissão nunca iria permitir visualizar a frequência de rotação do veio de saída pois esta iria ser da ordem de 2,91 Hz e não poderia ser identificável no espectro de frequência devido à utilização da placa de som.

Os redutores de parafuso sem-fim têm um impacto mínimo no engrenamento, pois o engrenamento é progressivo e não é gerado num ponto como as engrenagens de dentes direitos. Deste modo, a amplitude da vibração gerada no engrenamento é baixa. Seria de esperar, portanto, resultados de resposta vibração baixos mas que seguissem um aumento, segundo o aumento da carga sobre a barra.

6.5.2. Evolução da temperatura do lubrificante

A utilização da sonda *PT 100* foi um método simples, que aliado ao variador de frequência possibilitou leituras instantâneas do valor da temperatura do óleo. A sonda nunca se encontrou completamente mergulhada no óleo do redutor porque na posição de funcionamento do equipamento a altura da coluna de óleo, apenas cobre mais ou menos metade da roda de coroa.

Durante todos os testes efetuados e através do programa *vacon live* foi possível monitorizar a evolução da temperatura do óleo. Os gráficos demonstrados refletem os principais pontos de monitorização que foram retirados para demonstrar a escalada da temperatura do óleo. É de extrema importância referir que a temperatura do óleo é influenciada por fatores como a temperatura ambiente e abertura e fecho do portão do armazém onde se encontrava a bancada de ensaios. Foram feitas tentativas de manter sempre o portão fechado de modo a minimizar de correntes de ar que provocassem uma diminuição da temperatura do lubrificante e assim influenciassem os dados obtidos.

Para a monitorização sem carga no redutor observou-se que a temperatura estabilizou no primeiro ensaio no valor de 48,8 °C e 47 °C para o segundo teste válido. Contudo estes testes realizados tiveram uma duração muito reduzida.

Para o teste N°7 com 290 minutos a temperatura final do lubrificante alcançou os 48,9 °C. No teste N° 8, com 133 minutos de monitorização, a temperatura do óleo alcançou os 48,6 °C. Os testes com o referido carregamento tiveram uma duração reduzida.

Nas monitorizações com uma carga aplicada de 22Kgf obteve-se uma temperatura média no final de todos os testes de 48,8 °C.

Para os 38 kgf de carga aplicada, a temperatura final média dos ensaios válidos é de 54,3 °C, um valor bastante mais elevado do que para os anteriores 2 casos. Pelos gráficos demonstrados, pode indicar-se que existe uma estabilização da temperatura para este valor de carga por volta dos

54 a 56 °C. A temperatura máxima atingida no total das monitorizações foi de 56 °C e corresponde à situação de carregamento máximo (teste N°12).

Por análise à tabela 6.5 a temperatura do óleo evolui com a carga aplicada sobre o veio do redutor. Para o valor de carregamento de 38 kgf, esse aumento da temperatura é bastante superior do que nas situações de sem carregamento e 22kgf.

Em nenhum dos ensaios realizados a temperatura chegou aos 60 °C. Neste regime de funcionamento o fabricante do equipamento indica que o óleo é considerado como tendo uma vida infinita.

7. Conclusões e sugestões para trabalhos futuros

7.1. Conclusões

Os objetivos do estágio realizado na empresa do ramo eletromecânico, SIEPI, foram atingidos. Foi conhecida a realidade do ambiente de manutenção industrial.

Das análises exaustivas efetuadas às reparações realizadas aos acionamentos eletromecânicos verificou-se que o grosso dos clientes utiliza, nos seus equipamentos, manutenção reativa.

As mudanças sugeridas para as atividades de manutenção da empresa SIEPI pretendem contribuir para uma aproximação do cliente a outros tipos de manutenção, para além de simples ações reativas ou corretivas. Com as alterações e melhoramentos à ficha de reparação dos redutores pretende-se que o cliente tenha uma visão mais aproximada das condições de funcionamento dos seus equipamentos e as causas que o levaram à necessidade de reparação. Essas alterações irão permitir que o cliente, para além da possibilidade de escolha do grau de rapidez interventiva para o seu equipamento, possa posteriormente, e no ambiente de funcionamento do mesmo, efetuar melhorias e alterações de modo a reduzir a periodicidade de intervenção. Também possibilita ao cliente uma observação mais minuciosa de todos os elementos que foram substituídos, bem como uma vasta análise aos custos da intervenção.

A introdução de um historial de avarias permitiu à SIEPI criar dados estatísticos para posterior análise nos equipamentos que entram no seu departamento de manutenção. Com isto pode-se efetuar um historial de avarias, tendo cada empresa um ficheiro Excel próprio. Para além desta contabilização de equipamentos que cada empresa entrega à SIEPI para manutenção, existe a possibilidade de contabilizar o número de falhas e sua repetição. Com isto possibilita-se uma análise a equipamentos e falhas recorrentes.

Foi também proposto um plano de manutenção preventivo sistemático. Face às dificuldades apontadas, foi equacionado o método Ipinza para tentar incutir nos clientes a sensibilidade para a manutenção preventiva ao invés de reativa. Esta mudança de mentalidades é o primeiro passo antes da elaboração de qualquer plano de manutenção preventiva.

Foi elaborado um típico plano de manutenção para os motores elétricos e redutores de velocidade, onde através de um impresso próprio, denominado de ficha de manutenção preventiva, que abrange os elementos que necessitam de uma inspeção periódica para não sofrerem avarias ou não as provocarem noutros componentes. A base dessa ficha de manutenção foi o cronograma que permitiu uma abrangência de planeamento de atividades para a duração de um ano. Dividiram-se as

inspeções diárias das demais, pois com isto conseguiu-se uma divisão entre intervalos de inspeção mais próximos. Com a criação de “caixas de resposta rápida” nessa ficha, conseguiu-se uma rápida resposta na marcação das inspeções realizadas e no campo das “notas” possibilitou-se tomar apontamentos das ações efetuadas para a inspeção realizada.

Foi elaborada uma proposta de um sistema de monitorização, com custos reduzidos e interpretação de dados de modo simples. Com base nesta ideia projetou-se uma banca de ensaios para avaliação das condições de desgaste de um redutor de velocidades.

O projeto da bancada de ensaios foi bem conseguido, tendo-se com isto obtido uma solução simples para simular condições de má montagem a que muitas vezes estes equipamentos são sujeitos.

O sensor de vibração utilizado não permitiu obter dados que evidenciassem alterações de resposta às frequências desejadas. Não foi possível visualizar no espectro de frequência as condições de amaciamento do equipamento onde seria espectável uma diminuição da resposta ao fim de algum tempo.

Ainda assim, veio a constatar-se que este sensor não foi uma escolha ideal visto não satisfazer os objetivos que foram inicialmente propostos. Por outro lado, a utilização da placa de som é bastante limitada pois a resposta em frequência situa-se entre os 20 aos 20000 Hz o que neste tipo de redutor de parafuso sem-fim não é suficiente devido às baixas frequências e amplitudes geradas pelos seus principais componentes. A interpretação da limitação imposta pela junção da placa de som e do redutor do tipo sem-fim só foi detetada posteriormente à iniciação da monitorização do equipamento.

Em contrapartida, a sonda de monitorização da temperatura foi uma solução bem conseguida que possibilitou leituras das temperaturas do óleo. O principal custo desta solução depara-se com a utilização de um variador de frequência, o que pode ser contornado com outros sistemas de leitura que possam ser conectados ao transmissor. Não é um método preditivo para o lubrificante pois não efetua qualquer análise à sua condição mas é um método eficaz para avaliação da temperatura e assim possibilitar a avaliação de futura mudança do mesmo.

A utilização de um redutor de velocidades com um fator de serviço baixo combinado com cargas radiais de elevado valor poderiam contribuir para ultrapassar a temperatura máxima recomendável para o lubrificante. Não foi possível comprovar o referido pois a bancada de ensaios foi concebida para situações de apenas má montagem dos equipamentos e não para a conjugação de transmissão de potência e má montagem.

Apesar de este método não prever o tempo de vida útil do óleo pode evitar aumentos de temperatura indesejados e consequentemente proteger outros elementos que podem entrar em falhas tais como os retentores em **NBR** que equipam a maior parte dos redutores. A grande vantagem deste tipo de abordagem foi sem dúvida a facilidade de instalação do equipamento para registar a temperatura e a possibilidade de utilização em todas as caixas redutores, apenas variando o

tamanho da sonda que é mergulhado no corpo do redutor. Não sendo um substituto de uma análise termográfica, a simples colocação de uma sonda de monitorização de temperatura pode evitar a ocorrência de danos neste tipo de equipamentos. As leituras em tempo real da evolução da temperatura permitem ao operador agir quando entender e, sobretudo, evitar paragens dos equipamentos que podem ser mais demoradas e refletirem-se em altos custos para a empresa.

7.2. Sugestões para futuros trabalhos a desenvolver

Para a bancada de ensaios sugere-se a utilização de outro tipo de sensor de análise de vibração. Ao invés da utilização de um único sensor, sugere-se a utilização de dois para possibilitar a obtenção de dados em dois eixos. Propõe-se também um aumento dos intervalos de monitorização para as diversas cargas de modo a aumentar o desgaste no equipamento e possível ocorrência de falha total. Sugere-se também o abandono da utilização da placa de som do computador devido às suas limitações de registo de frequências.

A utilização de contaminantes no lubrificante possibilita a análise da ocorrência ou não de alterações à temperatura do lubrificante, ou na resposta de vibração. Para o lubrificante, e se existirem condições laboratoriais para o efeito, deveria utilizar-se análise ferromagnética para identificação das partículas em suspensão no lubrificante e assim analisar condições de desgaste.

Referências Bibliográficas

- [1] C. 94 APMI, “Terminologia da Manutenção,” *Tempo*. Instituto Português da Qualidade, p. 37, 2007.
- [2] J. M. T. Farinha, *Manutenção - A Terologia e as Novas Ferramentas de Gestão*. Monitor-Projectos e Edições, Lda, 2011.
- [3] V. M. Pinto, *Gestão da Manutenção*. IAPMEI- Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas e ao Investimento, 1994.
- [4] J. S. Cabral, *Organização e Gestão da Manutenção dos Conceitos à Prática*, 3ª Edição. LIDEL, 1998, p. 337.
- [5] L. A. Ferreira, *Uma Introdução à Manutenção*, 1ª Edição. Porto: Publinústria, Edições Técnicas, 1998.
- [6] R. K. Mobley, *An Introduction to Predictive Maintenance*, 2nd ed. Elsevier Science, 2002, p. 438.
- [7] A. Trabachini and S. M. Ell, “A manutenção centrada na confiabilidade- uma prática contemporânea,” 2003.
- [8] B. S. Dhillon, *Engineering Maintenance*, 1st ed. CRC Press, 2002.
- [9] A. . Al-Shayea, “Maintenance Definition.” King Saud University, 2007.
- [10] APMI, “Manutenção,” *11º Congresso Nacional de Manutenção*, 2011.
- [11] G. P. Sullivan, R. Pugh, A. P. Melendez, and W. D. Hunt, *O&M Best Practices Guide 2.0*, 2nd ed. FEMP, 2004, p. 215.
- [12] C. A. D. Bezerra, “Manutenção Industrial.” pp. 1–5.
- [13] C. V. Pinto, *Organização e Gestão da Manutenção*, Monitor-Pr. 1999.
- [14] A. Francisco, *Motores Eléctricos*, 3ª Edição. LIDEL-edições técnicas, Lda, 2009.
- [15] A. A. Roque, “Controlo de Condição de Motores Eléctricos de Indução Trifásicos.” pp. 1–25, 2010.
- [16] WEG, “Motores Elétricos.” 2009.
- [17] SEW, “Redutores e moto-redutores, Manual de instruções.” 2006.
- [18] G. Niemann, *Elementos de máquinas Volume II*, 5th ed. Edgard Blucher LTDA.
- [19] SENAI / CST (Companhia Siderúrgica de Tubarão), “Noções Básicas de Elementos de Máquinas.” SENAI, pp. 3–120.
- [20] C. M. Branco, J. M. Ferreira, J. Domingos da Costa, and J. Silva Ribeiro, *Projecto de Órgãos de Máquinas*, 2ª Edição. Fundação Calouste Gulbenkian, 2008.

- [21] Varvel, “Catálogo Varvel RS/RT.” Varvel spA, 2011.
- [22] D. Braga, “New Approach to the Maintenance of Gear Motors and Industrial Gears,” p. 2.
- [23] D. Braga, “Gestão da Manutenção de accionamentos electro - mecânicos,” 2011.
- [24] SKF, “Manual de mantenimiento y recambio de rodamientos.” Sörmlands Grafiska, 1986.
- [25] FAG Portuguesa LDA, “Danificações em rolamentos,” WL 82102 PC, 1987.
- [26] SKF, “Catálogo Geral Retentores Industriais.” 2008.
- [27] Escola SENAI “Santos Dumont,” “Elementos de Vedação.” São José dos Campos, 2010.
- [28] Corteco, “Apostila Retentores.” pp. 1–24.
- [29] U. F. do Pará, *Lubrificação industrial*. .
- [30] Mobil, *Fundamentos da Lubrificação*, 3ª Edição. Mobil Oil Portuguesa, 1980.
- [31] Mobil, *O automóvel*. Mobil Oil Portuguesa, 1982.
- [32] M. L. E. M. Rodrigues, “Curso de especialização em manutenção produtiva total.” 2008.
- [33] Y. Ding and N. F. Rieger, “Spalling formation mechanism for gears,” *Wear*, vol. 254, no. 12, pp. 1307–1317, Nov. 2003.
- [34] R. L. Norton, *Projeto de máquinas uma abordagem integrada*, 2ª Edição. BOOKMAN COMPANHIA ED, 2004.
- [35] V. Mirshawka, *Manutenção preditiva- Caminho para zero defeitos*, 1ª Edição. McGraw-Hill, 1991.
- [36] G. P. Maia, *Prática da Manutenção*. 2006.
- [37] Daniel and F. Lago, “Manutenção preditiva de um redutor usando análise de vibrações e de partículas de desgaste,” 1998.
- [38] J. C. B. Nogueira and V. P. Reis, “Emprego da termografia na inspeção preditiva,” *Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense*, vol. 1, pp. 29–35, 2010.
- [39] Flir Systems AB, *Thermal imaging guidebook for industrial applications*. .
- [40] WTG, “Gearbox endoscopy by wind specialist.” [Online]. Available: <http://www.wtgpartners.com/>. [Accessed: 25-Sep-2012].
- [41] R. C. Cunha, “Análise do estado de conservação de um redutor de velocidade através da técnica de partículas de desgaste no óleo lubrificante auxiliada pela análise de vibrações,” Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira da Universidade Estadual Paulista”Júlio de Mesquita Filho”, 2005.

- [42] D. F. Lago, “Manutenção de redutores de velocidade pela integração das técnicas preditivas de análise de vibrações e análise de óleo lubrificante,” Faculdade de Engenharia - UNESP – Campus de Ilha Solteira, 2007.
- [43] A. dos S. Dias, J. das C. Rodrigues, and G. L. B. Ramalho, “Detecção de falhas em máquinas rotativas através da análise de vibração,” in *IV Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte e Nordeste de Educação e Tecnologia*, 2009, no. 1.
- [44] F. R. Spamer, “Técnicas preditivas de manutenção de máquinas rotativas,” Universidade federal do Rio de Janeiro, 2009.
- [45] L. P. Ponci and P. M. Rodrigues da Cunha, “Previsão de falha em rolamentos por análise espectral e de envelope.” .
- [46] O. Gomes de Paiva, “Análise das Vibrações Mecânicas.” 2000.
- [47] P. H. Tavares, “Harmônicos em instalações elétricas.”
- [48] WEG, “Motores de indução alimentados por inversores de frequência PWM.” .
- [49] R. P. D. Ascensão, “Optimização do Processo de Manutenção na CaetanoBus, S.A.,” Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.
- [50] J. A. de S. Bastos, “Gestão e Organização Industrial.” AEP - associação empresarial de Portugal, 2000.
- [51] N. Moro and A. P. Auras, *Introdução à gestão da manutenção*, vol. 8, no. 1. Florianópolis: , 2007.
- [52] WEG, “Instalação e manutenção de motores elétricos.” .
- [53] STM, “Installation and Maintenance.” 2010.
- [54] J. A. Almacinha, “Redutor de parafuso sem-fim/roda de coroa.” 2002.
- [55] Chagas, “Manual técnico de produtos siderúrgicos.” 2011.
- [56] Guanglu, “GL/Y3 Series Motor.” Shanghai Guanglu Motor Co.,Ltd, 2008.
- [57] STM, “Installation and Maintenance.” .
- [58] Sati, “Catálogo Geral Sati.” 2011.
- [59] WEG, “Guia de Aplicação de Inversores de Frequência.” .
- [60] Vacon, “Vacon 10 inversores de frequência.” .
- [61] J. N. Pires, *Automação Industrial*, 4ª Edição. LIDEL-edições técnicas, Lda, 2007.
- [62] Picotech, “PT100 Platinum Resistance Thermometers.” [Online]. Available: <http://www.picotech.com/applications/pt100.html>. [Accessed: 27-Jul-2012].
- [63] Sensolute, “Datasheet micro vibration sensor MVS0608.02.” 2011.

- [64] E. Alecrim, “Placa de som: principais características,” 2007. [Online]. Available: www.infowester.com/placadesom.php. [Accessed: 06-Aug-2012].
- [65] M. B. Hunt and K. Dingley, “Technical Trimmings: Use of the sound card for datalogging,” *Physics Education*, vol. 37, no. 3, p. 251, 2002.
- [66] A. M. Gretarsson, “Scope, a minimal and incomplete user’s manual.” .
- [67] SpectraPlus, “FFT Spectral Analysis System user guide.” .
- [68] SKF, “Frequências dos rolamentos.” [Online]. Available: <http://www.skf.com/skf/productcatalogue/calculationsFilter?lang=pt&newlink=&prodid=&action=Calc6>. [Accessed: 23-Aug-2012].

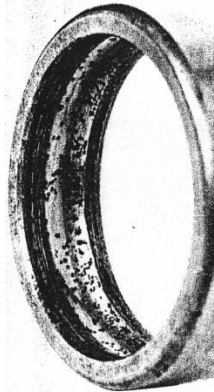
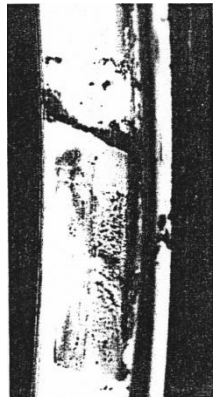
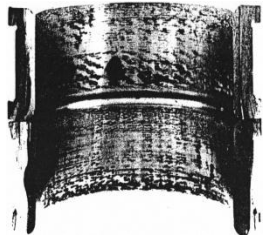
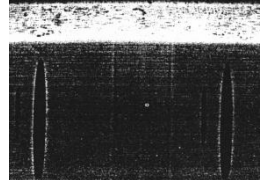

Anexo A- Avarias em enrolamentos de motores assíncronos trifásicos [16]


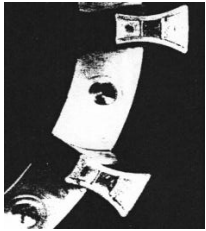
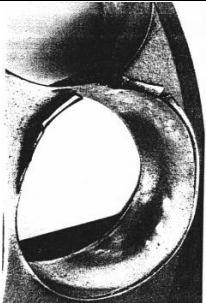
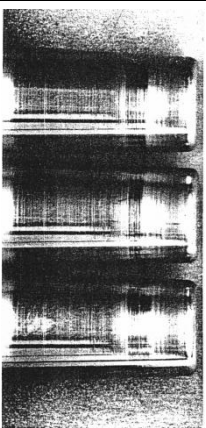
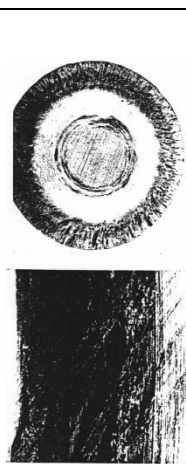
Avarias	Causas prováveis	Imagem
Curto-circuito entre espiras	Falha no esmalte isolante do fio Falha no verniz	
Curto-circuito na bobine	Contaminação interna do motor Oscilações bruscas na tensão de alimentação	
Curto-circuito entre fases	Falha no material isolante Contaminação interna do motor Degradação do material isolante por funcionamento do motor a temperaturas mais elevadas do que o preparado	
Curto-circuito na conexão	Falha do material isolante Contaminação interna do motor Sobreaquecimento das conexões por mau contacto	
Curto-circuito na saída da ranhura	Falha no esmalte que isola o fio Falha no verniz de impregnação Falha do material isolante	
Curto-circuito no interior da ranhura	Contaminação interna do motor Oscilações bruscas da tensão de alimentação Degradação do material isolante	
Pico de tensão	Oscilação da tensão de alimentação Inversores de frequência com parâmetros incorretos	
Balanceamento de tensão	Desequilíbrio entre fases Oscilações entre as 3 fases	

Rotor bloqueado	<p>Bloqueio do acoplamento no eixo de saída do motor</p> <p>Dificuldade de arranque do motor</p>	
Sobreaquecimento	<p>Carga excessiva no eixo do motor</p> <p>Sob ou subtensão</p> <p>Cabos de alimentação com tamanho incorreto</p> <p>Número de arranques elevado num período de tempo curto</p> <p>Ventilação incorreta</p>	
Falta de fase em ligação em estrela	<p>Fusível queimado</p> <p>Corte de um cabo de alimentação</p> <p>Queima de uma fase do transformador de alimentação do motor</p>	
Falta de fase em ligação em triângulo	<p>Mau contacto nas conexões e terminais do motor</p> <p>Problemas nos disjuntores</p>	

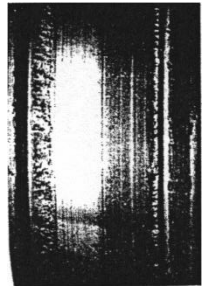
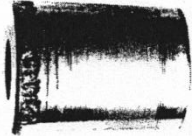

Anexo B- Avarias em rolamentos [25]

Danificação	Característica	Causa	Solução	Imagem
Impressão em corpos rolantes	Impressões no espaçamento dos corpos rolantes e nas pistas dos rolamentos	Montagem incorreta com a utilização de dispositivos incorretos	Montagem do anel ajustado com interferência. Se necessário utilizar um disco para montagem	
Arranhaduras	Arranhaduras paralelas ao eixo no espaço entre os elementos rolantes e sobre as pistas de rodagem	O anel da pista de rodagem do rolamento foi forçado, desalinhado na coroa de corpos rolantes	Evitar erros de montagem quando as partes do rolamento são separáveis. Montagem dos rolamentos com um leve movimento giratório. Bucha auxiliar de montagem	
Impressão de corpos estranhos	Impressão pequenas se causadas por pequenas partículas. Impressões profundas com saliências se causadas por partículas com elevada dureza. Elevadas impressões pequenas são causadas por partículas quebradiças.	Falta de limpeza Vedações dos rolamentos sem estanquicidade. Lubrificante contaminado	Limpeza durante a montagem e a manutenção dos rolamentos. Substituição atempadamente das vedações danificadas. Substituição do lubrificante sem esquecer de lavar o rolamento com o produto apropriado	

Danificação	Característica	Causa	Solução	Imagem
Corrosão por humidade (ferrugem)	Coloração marom no anel exterior e na superfície de rodagem	Processo de armazenamento inadequado em locais com níveis de humidade elevados. Água de condensação devido ao diferencial de temperatura. Vedantes. Lubrificação incorreta.	Seguir corretamente as indicações de armazenamento por parte do fabricante. Melhoria dos vedantes utilizados. Lubrificante com aditivos anticorrosivos.	
Corrosão devido a agentes agressivos	Rolamento com tonalidade negra devido à corrosão	Armazenamento efetuado em locais com a presença e produtos químicos nocivos ao rolamento. Vedantes. Lubrificação incorreta.	Seguir corretamente as indicações de armazenamento por parte do fabricante. Melhoria dos vedantes utilizados. Lubrificante com aditivos anticorrosivos	
Corrosão de atrito	Ocorrência de ferrugem de contacto. Desgaste nas superfícies de ajuste tais como furo e zona exterior do rolamento	Movimentos relativos entre os diversos componentes do rolamento. Flexão do eixo e deformação da caixa.	Utilizar sempre que possível ajustes com interferência. Eixos e caixas mais rígidos. Revestir os assentamentos do rolamento	
(falso brinelamento) Depressões nas pistas do rolamento	Marcas no anel interno do rolamento no espaçamento entre os corpos rolantes	Vibração devido à paragem dos equipamentos que provocam desgaste nos rolamentos.	Equipamentos com elevada propensão para este facto devem ser mantidos em marcha lenta.	
Crateras	Aparecimento de crateras nas zonas de contacto dos elementos rolantes	Impulsos elétricos por má ligação à terra em operações de soldagem.	Isolamento destes componentes com a devida ligação à terra.	

Danificação	Característica	Causa	Solução	Imagem
Estrias	Marcas de cor marrom na pista de rolamento do anel externo	Passagem constante de corrente elétrica	Não permitir a passagem de corrente elétrica através do rolamento	
Gaiola danificada por vibração	Rompimento ou perda de tensão dos rebites da gaiola	Vibrações mais elevadas do que a solicitação a que a gaiola se encontre predisposta.	Gaiolas maciças em detrimento das de chapa. Para solicitações de vibração elevadas gaiolas do tipo janela.	
Empenamento da gaiola	Desgaste e possível rutura das nervuras entre as cavidades da gaiola	Inclinação excessiva dos anéis. Em rolamentos de esferas deve-se a carga combinada gera diferentes velocidades nas esferas.	Evitar causar empenamentos nas gaiolas do rolamento. Utilizar rolamentos de contacto angular.	
Danificação por desgaste	Superfícies de contactos dos corpos rolantes ásperas. Aumento da folga do rolamento.	Filme de lubrificação insuficiente, inadequado envelhecido ou contaminado. O desgaste aumenta por corpos estranhos e por atrito.	Recomenda-se a utilização de um lubrificante de maior capacidade, com elevada viscosidade e aditivos. Diminuição dos intervalos de lubrificação. Melhores vedantes.	
Caldeamento sobre elevada carga	Este processo é provocado pelas partículas que são arrancadas da superfície do rolamento e fundem no local oposto. Ocorre em rolamentos com maior atrito de deslizamento.	Deficiência de lubrificação para a carga a que o rolamento está a ser sujeito. Combinação de elevada carga e reduzida velocidade de rotação impede a formação de um filme de fluido hidrodinâmico. Tensão por dilatação térmica	Melhoria das condições de lubrificação do rolamento. Quantidade de lubrificante correta.	


Danificação	Característica	Causa	Solução	Imagem
Danificações por deslizamento	Pistas e elementos rolantes muito ásperos. Desgaste por caldeamento.	Carga reduzida e lubrificação deficiente provocam o deslizamento dos elementos rolantes sobre as pistas do rolamento.	Utilização de pré-carga nos rolamentos. Solicitação na fase de teste. Melhorias ao nível da lubrificação.	
Fadiga tradicional	Marca de rodagem brilhante e de tonalidade clara nas pistas de rolamento. Descascamento (“pitting”) das superfícies de rodagem e dos elementos girantes.	Ocorre devido à ultrapassagem da vida útil do rolamento enquanto solicitado dinamicamente.	Efetuar a troca do rolamento quando este atingir a sua vida útil.	
Fadiga devido a más condições de lubrificação	Descascamento extenso mas não profundo da superfície da área de rodagem do rolamento. Zonas com coloração cinza.	Condições de lubrificação deficientes que incorrem num aumento do atrito e uma maior solicitação mecânica do material.	Lubrificante com uma maior resistência de película e eventual utilização de aditivos. Maior quantidade de lubrificante	
Danificação da superfície por fadiga	“Pitting” do material através de impressões causados por corpos estranhos que aumentam no sentido de rodagem do rolamento.	Danificação da superfície do rolamento. Impressão no rolamento causada por partículas duras de entre as quais a areia.	Especial atenção durante a fase de montagem do rolamento com especial atenção aos níveis de limpeza. Melhor vedação dos rolamentos. Limpeza do lubrificante.	
Fadiga por excesso de carga local	Danificação por fadiga nos rolamentos de rolos. Fadiga nos bordos da pista dos rolamentos de esferas.	Solicitações de carga através de momentos. Empenamento dos anéis por desalinhamento. Deflexão do eixo	Utilização de rolamentos com a característica de compensar desalinhamentos do veio ou dos apoios. Reforço do eixo. Corrigir alinhamentos	

Danificação	Característica	Causa	Solução	Imagem
Fadiga por desgaste	“Pitting” dos elementos rolantes do rolamento e alteração da sua forma geométrica.	Desgaste criado por impurezas que possam existir no lubrificante ou adição de elementos estranhos ao lubrificante. Elementos vedantes com danificações.	Alteração do lubrificante atempadamente. Sistema de filtragem do lubrificante com impurezas. Mudança dos elementos vedantes que sofreram desgaste.	 
Danificação por superaquecimento	Súbito aumento da temperatura que bloqueia a normal rotação do rolamento e o danifica totalmente. O bloqueio do rolamento devido ao aquecimento provoca um bloqueio dos elementos rolantes que se perfuram as pistas de rodagem	Neste tipo de falhas é de difícil atribuição das suas causas. Lubrificação incorreta, tanto em excesso como em escassez. Folga incorreta sobretudo a elevadas velocidades de rotação.	Aumento da folga do rolamento ou diminuição da pré-carga sobre o rolamento até estabilizar a temperatura ótima e funcionamento. Níveis corretos de lubrificação. Viscosidade acertada do lubrificante.	

Anexo C- Danificações em retentores [28]

Anomalia	Causa	Solução
Modificação da coloração, de azul para marron claro, do canto de vedação	Aumento da temperatura admissível no caso da borracha Nitrílica	Verificar se o retentor se encontra com a correta lubrificação
	Aumento da força radial	Substituição do retentor
	Lubrificação deficiente	Verificar o nível do lubrificante
Alteração da coloração do retentor, em todo o seu corpo, menos na região do anel exterior	A temperatura do lubrificante excedeu o máximo admissível para a borracha escolhida para o retentor	Descobrir a fonte do sobreaquecimento
Canto do retentor incorretamente adaptado em relação ao eixo	Inexistência de rugosidade na zona de trabalho do retentor	Trabalhar o eixo de modo a deixá-lo com uma rugosidade total numa gama de valores entre 1 e 4 microns
Retentor com reduzida força radial	Retentor incorreto para o diâmetro do eixo em que vai efetuar a vedação	Efetuar uma comparação entre as dimensões existentes no retentor e verificar se obedecem às normas de ajuste
Retentor apresenta no lábio de vedação sinais de ressequido, quebrado ou com fissuras	Temperatura admissível do retentor foi ultrapassada	Descobrir a fonte do sobreaquecimento
		Verificar a compatibilidade do tipo de borracha em uso para a aplicação pretendida
	Corte da mola	Substituição do retentor
Desgaste precoce no canto da vedação da borracha	Diâmetro do eixo incompatível com o diâmetro do retentor	Verificar as medidas existentes no retentor para verificar compatibilidades de aplicação
	Rugosidade do eixo acima do ideal (1 a 4 microns)	Refazer o acabamento da pista de trabalho do retentor
	Respiro obstruído	Desimpedir o respiro e proceder à substituição do retentor
Desgaste irregular no canto da vedação do retentor	Retentor não ideal para a aplicação em questão	Substituir o retentor em questão por outro mais indicado
	Excentricidade estática do alojamento do retentor	Trabalhar o alojamento do retentor tendo sempre em conta a segunda medida gravada no retentor
	Falta de paralelismo entre o retentor e o alojamento	Aplicar o retentor da forma correta, salvaguardando sempre a necessidade de obter o retentor sempre paralelo ao alojamento
Lábio do retentor dobrado para o exterior	Falta de chanfro no eixo	Trabalhar o eixo
	Falta de utilização da luva de aplicação de retentores	Utilizar a luva
	Respiro obstruído	Desimpedir o respiro e proceder à substituição do retentor

Anexo D- Ficha de reparação Siepi



REPARAÇÃO INTERNA

ORIGINAL - LOG.1

Nº 0025

DATA DE ENTRADA ____/____/____ TÉCNICO _____

REFERÊNCIA DO MATERIAL:

QUANT	DESCRIÇÃO	QUANT	DESCRIÇÃO

MATERIAL A ENCOMENDAR				
DESCRIÇÃO	STOCK	ENCOMENDAR	DATA	RUBRICA

OBSERVAÇÕES :

DATA ENTRADA DEP.COMPRAS	RESP.DEP.COMPRAS	DATA SAÍDA	TÉCNICO
____/____/____	_____	____/____/____	_____

REPARAÇÃO INTERNA

Nº 0025

DATA DE PEDIDO MATERIAL AO FORNECEDOR: ____/____/____

PREVISÃO DE CHEGADA DO MATERIAL: ____/____/____

RESPONSÁVEL PELO PEDIDO: _____ DATA: ____/____/____

Mod SGQ.037-01

Anexo E- Ficha de reparação para redutores do tipo parafuso-sem-fim



Ficha de reparação para redutores do tipo parafuso-sem-fim

Data de recepção do redutor : ____/____/____ Recebido por: _____

Prioridade da reparação:



Técnico responsável pela reparação: _____ Data de reparação ____/____/____

Reparação interna Nº: _____ Cliente: _____ Telefone: _____

Anomalias citadas pelo cliente: _____

Marca do redutor: _____ Modelo: _____ i _____ Garantia: _____

Número de reparações efectuadas neste redutor: ____ Repetição da anomalia: _____

1. Aspecto visual do redutor:

	Sim	Não		Sim	Não
1.1 Sujidade exterior:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.2 detritos junto aos acoplamentos:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.3 Indícios de óleo:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.4 ligações aparafusadas completas:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.5 braço de reacção:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.7 acessórios :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.8 a caixa roda:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Quais: _____		
1.9 estado dos acoplamentos:					
	Bom	Mau			
Flange de entrada:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Flange de saída:	Bom	Mau
Braço de reacção:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Estado dos veios:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			

Obs: _____

2. Anomalias verificadas ao abrir a caixa

2.1 Estado das juntas:	Bom	Mau	Bom	Mau	Obs: _____
Entrada:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Saída:	<input type="checkbox"/>	_____
2.2 Estado dos retentores:					
Entrada:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Obs:	_____	
Saída:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____		
2.3 Sujidade interior:					
	Sim	Não			
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
2.4 Nível de óleo:					
	0% ou pouco	25% a 50%	50% a 75%	75% a 100%	Mais de 100%
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.5 vestígios de água:	Sim	Não	2.6 estado da roda de coroa:	Bom	Mau
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.7 vestígios de pó de bronze:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2.8 estado do sem-fim:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Obs: _____					

2.9 Análise global do Lubrificante					
	Bom	Mau	Obs: _____		
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____		

2.10 Estado da furação da caixa do redutor					
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Obs: _____		

2.11 estado dos rolamentos:					
	Bom	Mau	Obs: _____		
Roda de coroa:	Rolamento da tampa traseira:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____	
	Rolamento da flange:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____	

Sem-fim:	Rolamento da tampa traseira:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____	
	Rolamento da flange:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____	

Avaliação de causas de falha: _____					

3 Material reparado e substituído:

						Preço:	_____€
3.1 Tipo de óleo:	Sintético:	<input type="checkbox"/>			Quantidade:	_____	_____€
	Mineral:	<input type="checkbox"/>				_____	_____€
		Sim	Não				
3.2 Retentores novos:	Entrada :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	normal	<input type="checkbox"/>	viton	_____€
	Saída :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	normal	<input type="checkbox"/>	viton	_____€
		Sim	Não				
3.2 Juntas novas:	Entrada :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				_____€
	Saída :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				_____€
		Sim	Não	Modelo :			
3.3 Caixa nova:		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____			_____€
3.4 Sapatas:		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____			_____€
3.5 Pam:		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____			_____€
3.6 Flange:		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____			_____€
3.7 Roda de coroa:		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____			_____€
3.8 Sem fim:		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____			_____€
3.9 Outros:		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____			_____€
3.7 Rolamentos:							
		Sim	Não	Tipo:	Modelo:		
Roda de coroa:	Flange de saída ao veio	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____	_____		_____€
	Flange de saída	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____	_____		_____€
	Pam de entrada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____	_____		_____€
Sem-fim:	Tampa fechada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____	_____		_____€
						Total:	_____,____€

Obs: _____

Anexo F- Ficha de manutenção preventiva

Ficha de Manutenção Preventiva

Empresa: _____

Equipamento: _____ Código: _____

Descrição do equipamento: _____

Função: _____ Localização: _____

Data de compra: _____ Fornecedor: _____

Data de fim da garantia: _____ Importância do equipamento: _____



Características técnicas do equipamento: _____

Checklist de manutenção - Motor elétrico

Técnico responsável: _____

Data: _____ Versão: _____

Inspecções diárias

Vibração

Alterações significativas: _____

Ações efetuadas: _____

Inspeções diárias

Ruídos

Alterações significativas: _____

Ações efetuadas: _____

Temperatura

Alterações significativas: _____

Ações efetuadas: _____

Notas: _____

Restantes inspeções

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Limpeza das alhetas												
Notas: _____												
Drenar água												
Notas: _____												
Apertos												
Notas: _____												
Inspeção total ao motor												
Notas: _____												
Enrolamentos												
Notas: _____												
Rolamentos												
Notas: _____												
Caixa de ligações												
Notas: _____												
Alimentação												
Notas: _____												
Ventilação												
Notas: _____												
Acoplamento												
Notas: _____												
Equilibragem												
Notas: _____												

Elementos substituídos/Datas: _____

Checklist de manutenção – Redutor

Técnico responsável: _____

Data: _____ Versão: _____

Inspeções diárias

Vibração

Alterações significativas: _____

Ações efetuadas: _____

Ruídos

Alterações significativas: _____

Ações efetuadas: _____

Tipo de lubrificante: _____
 Marca do lubrificante: _____
 Data de colocação: _____

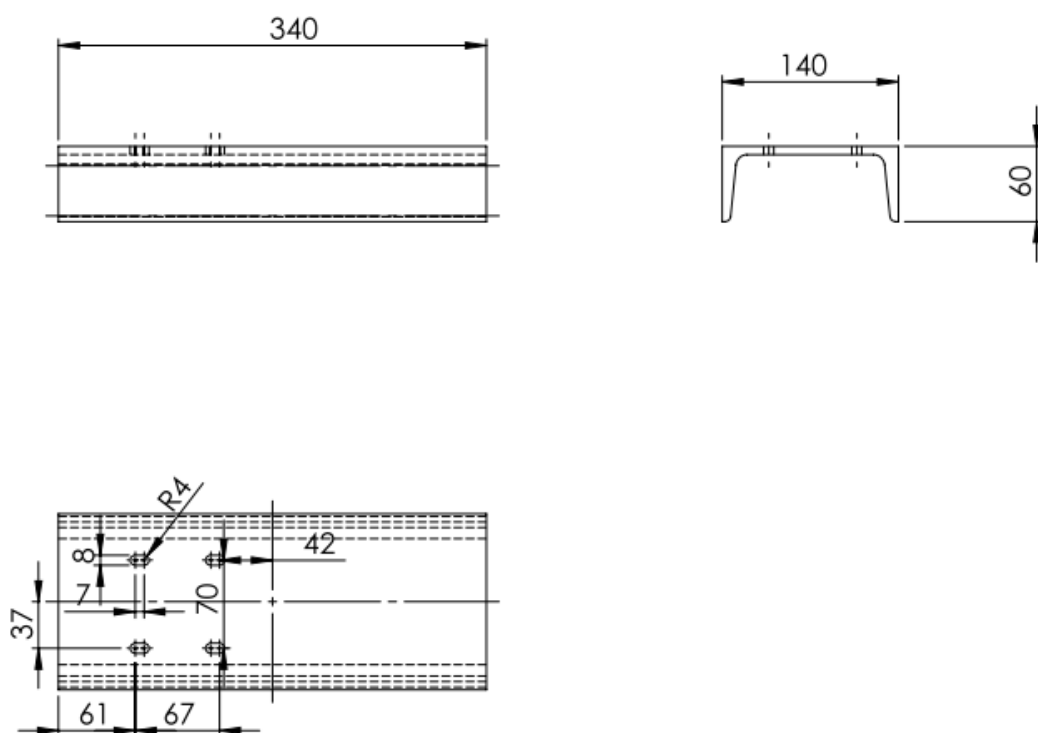
Restantes inspeções

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Temperatura do cárter												
Notas: _____												
Nível do lubrificante												
Notas: _____												
Fugas de lubrificante												
Notas: _____												
Estado do lubrificante												
Notas: _____												
Inspeção aos retentores e juntas												
Notas: _____												
Sinoblocos												
Notas: _____												
Inspeção completa ao redutor												
Notas: _____												
Substituir lubrificante												
Notas: _____												
Substituir a massa dos rolamentos												
Notas: _____												
Substituir retentores												
Notas: _____												

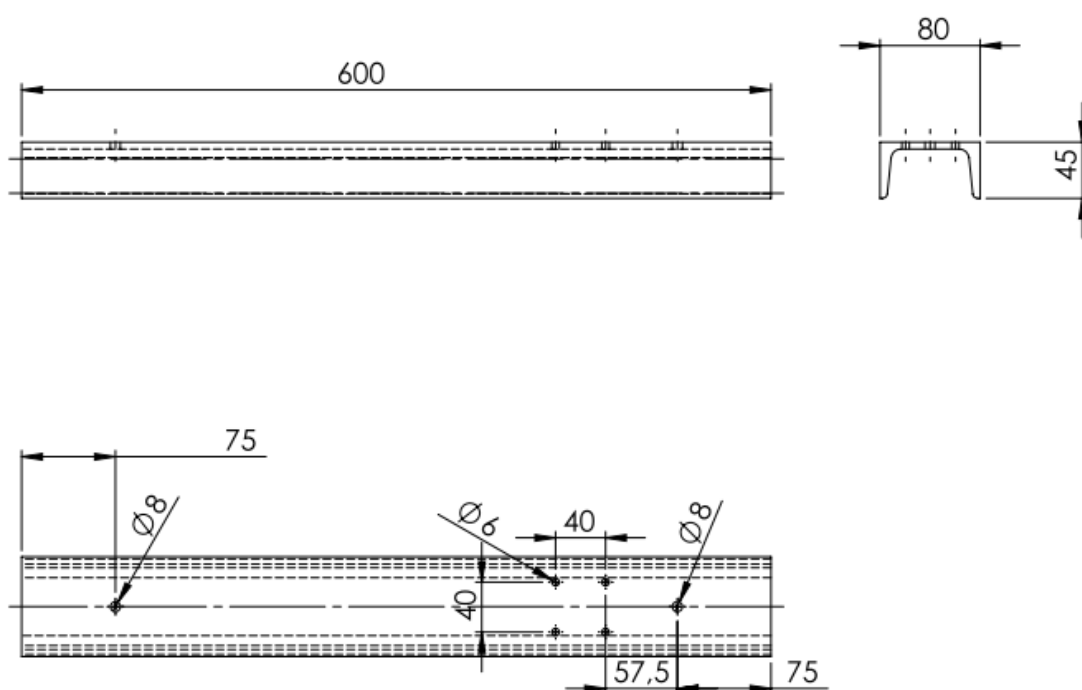
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Pintura anticorrosiva												
Notas: _____												
Limpeza exterior												
Notas: _____												

Elementos substituídos/Datas: _____

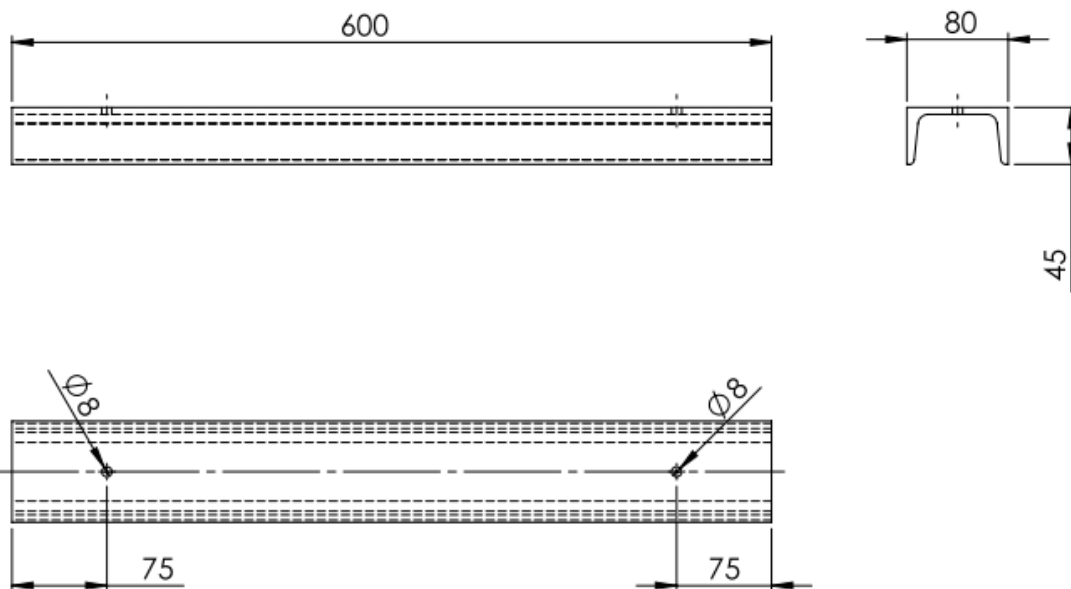
Anexo G- Desenhos da bancada de ensaios



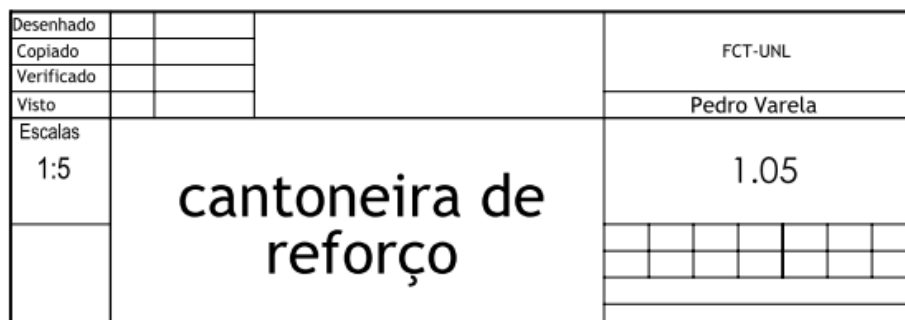
Desenhado				FCT-UNL									
Copiado													
Verificado													
Visto				Pedro Varela									
Escalas 1:5	Viga da base			1.04									

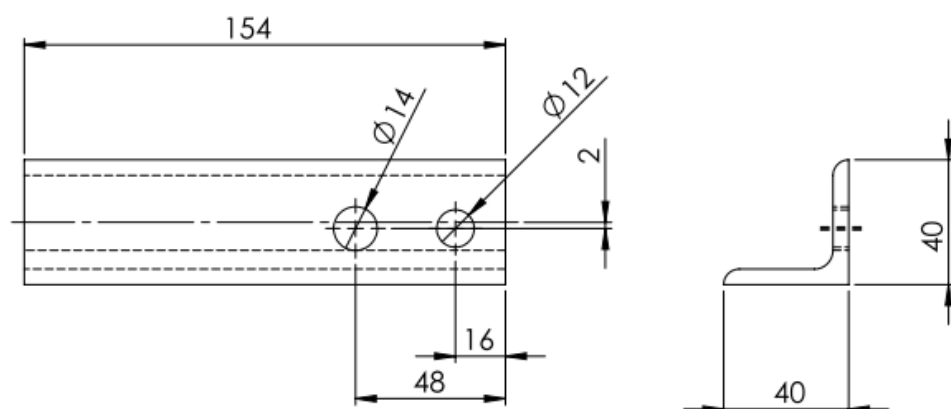


Desenhado					FCT-UNL
Copiado					
Verificado					
Visto					Pedro Varela
Escalas	Viga lateral da base				1.02
1:5					

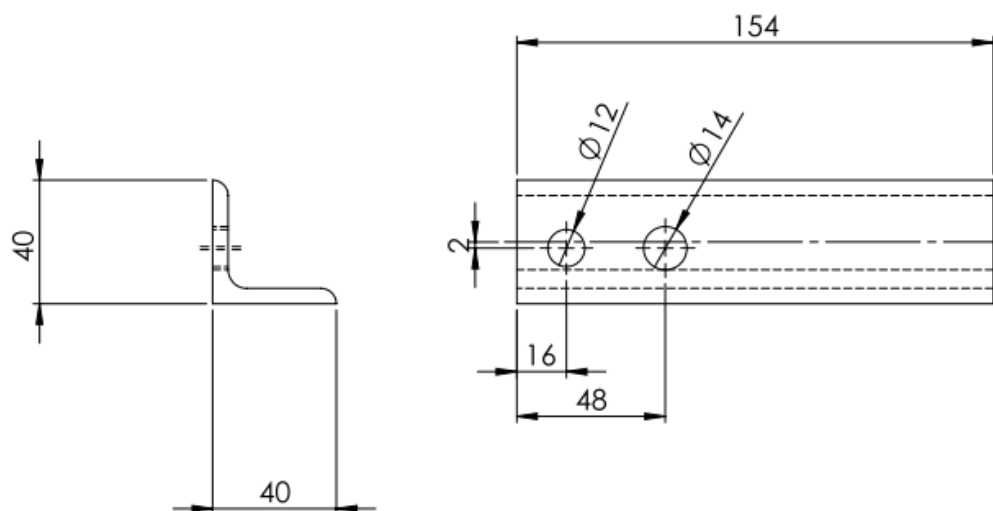


Desenhado				FCT-UNL
Copiado				
Verificado				
Visto				Pedro Varela
Escalas	Viga lateral da base			1.03
1:5				

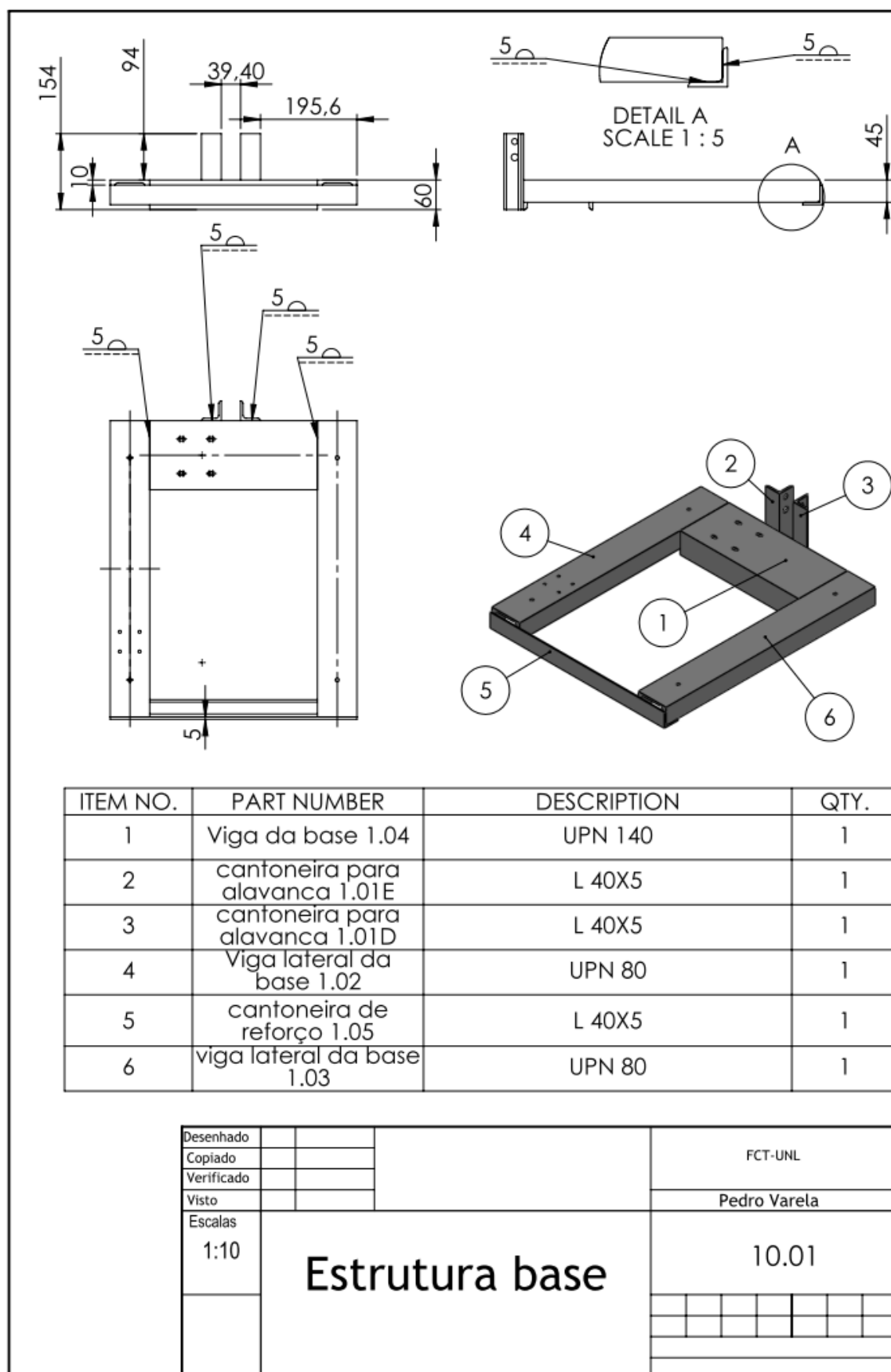


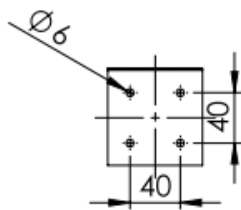
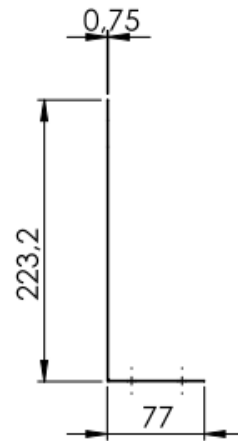
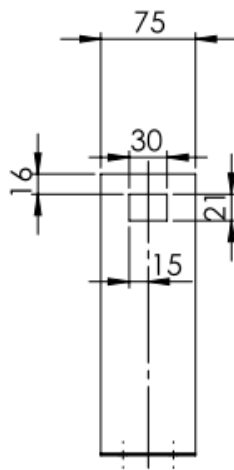


Desenhado				FCT-UNL
Copiado				
Verificado				
Visto				Pedro Varela
Escalas	Cantoneira para alavanca			1.01D
1:2				

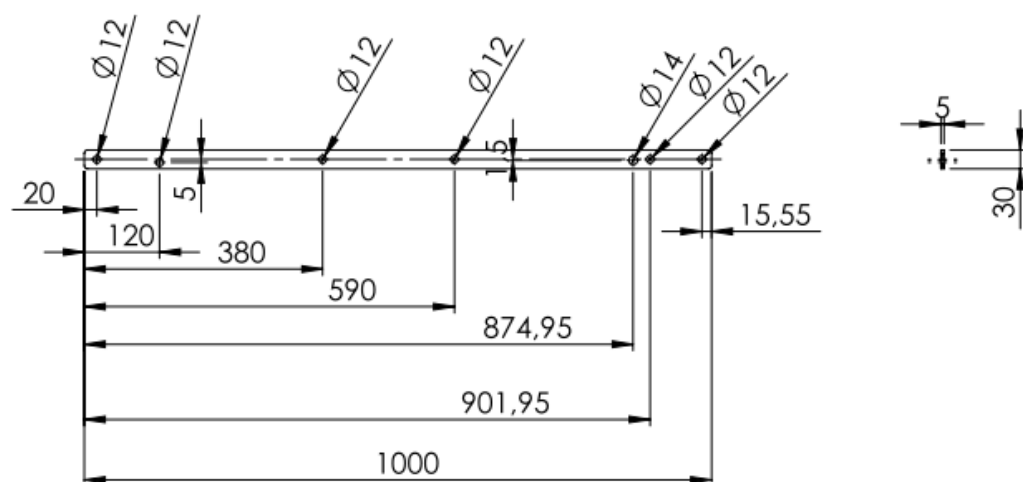


Desenhado					FCT-UNL
Copiado					
Verificado					
Visto					Pedro Varela
Escalas	1:2				1.01 E
	Cantoneira para alavanca				

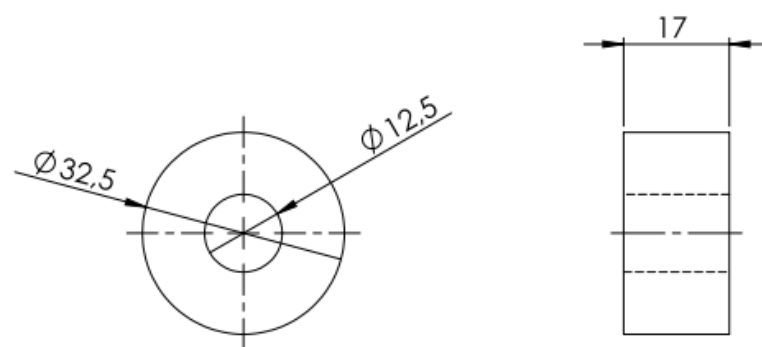




Desenhado				FCT-UNL
Copiado				
Verificado				
Visto				Pedro Varela
Escalas	placa variador frequencia			2.01
1:5				

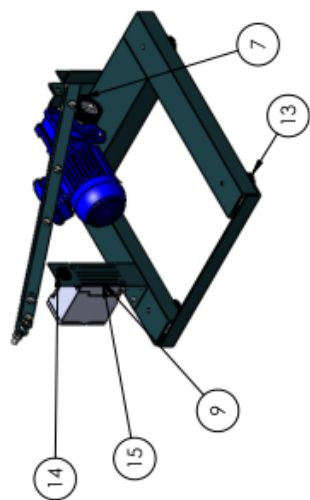


Desenhado						FCT-UNL
Copiado						
Verificado						
Visto						Pedro Varela
Escalas	Alavanca					3.01
1:10						
Tolerancia						
NP-265 Médio						



Desenhado				FCT-UNL																								
Copiado																												
Verificado																												
Visto				Pedro Varela																								
Escalas	1:1	Espaçador da alavanca			3.02																							
					<table><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>																							

117



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
7	montagem motor reductor	Motor electrico 0.18Kw com reductor WMI 40 com veio de saida e respectivo taperlock	1
9	placa para o variador		1
13	pés da estrutura	pés da estrutura com base anti- derapante	4
14	interruptor	interruptor de corte geral do sistema	1
15	variador de frequência	Vacon 10	1

Desenhado						FCT-UNL
Copiado						
Verificado						
Visto						Pedro Varela
Escala 1:10	Montagem bancada de ensaios					40.01

Anexo H- Imagens da bancada de ensaios



Figura H.1- Render da estrutura projetada

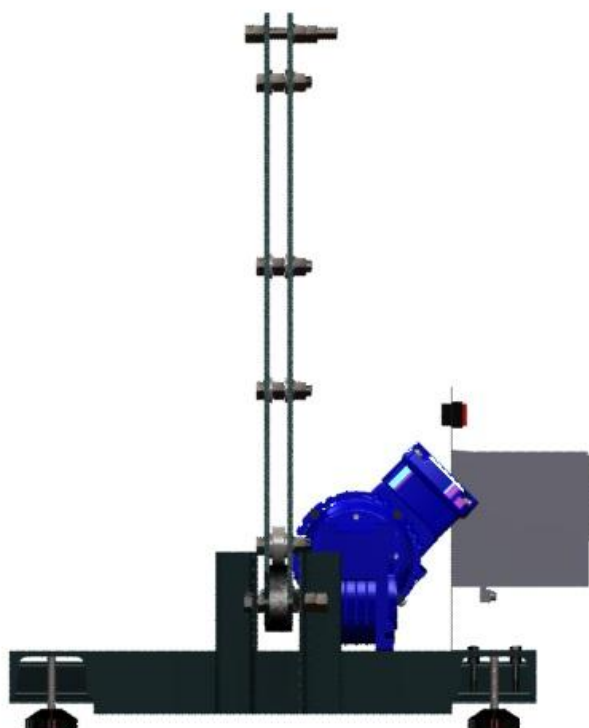


Figura H.2- Render da estrutura projetada



Figura H.3- Imagem da bancada de ensaios em funcionamento



Figura H.4- Imagem da bancada de ensaios em funcionamento

Anexo I- Resultados retirados do programa *Scope*

Motor e variador desligado da corrente eléctrica e subsequentemente da fonte de alimentação:

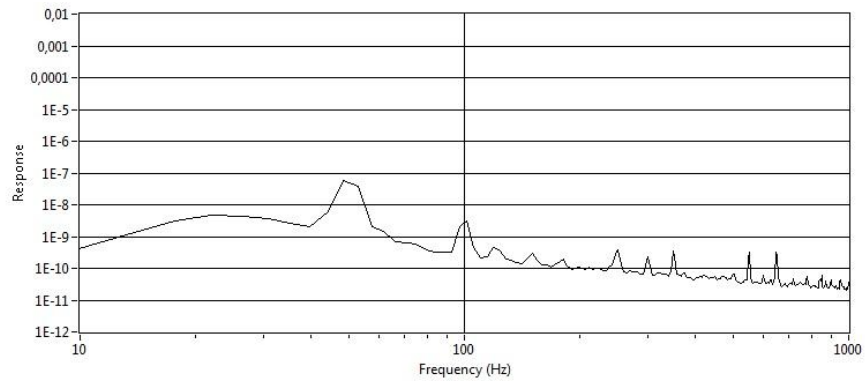


Figura I.1- Motor e variador desligado em *RMS AVG100* escala logarítmica na frequência

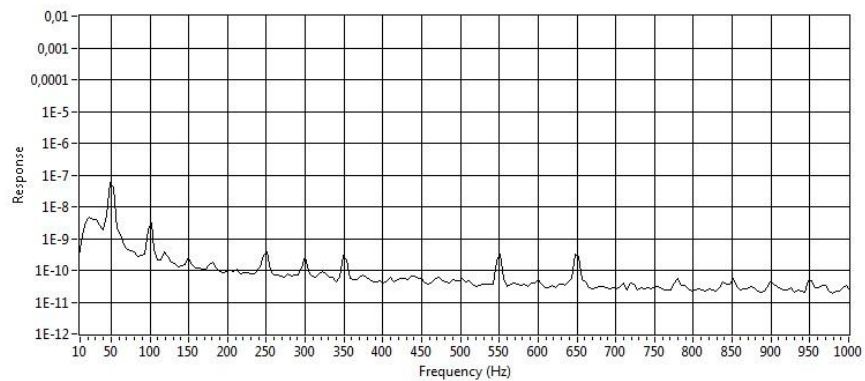


Figura I.2- Motor e variador desligado em *RMS AVG100* escala linear na frequência

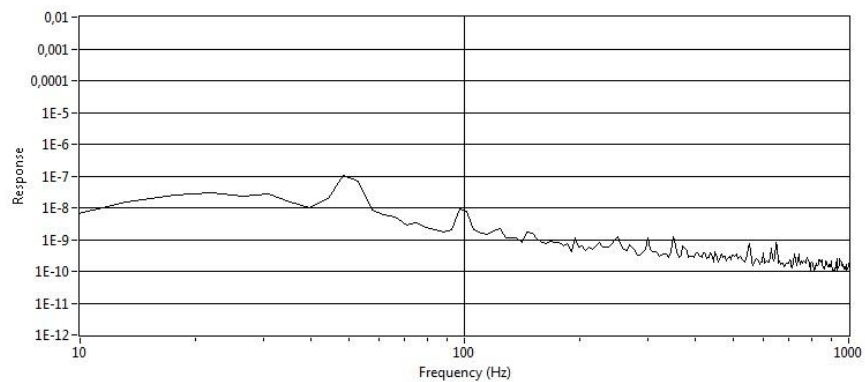


Figura I.3- Motor e variador desligado em *PK. Hold AVG100* escala logarítmica na frequência

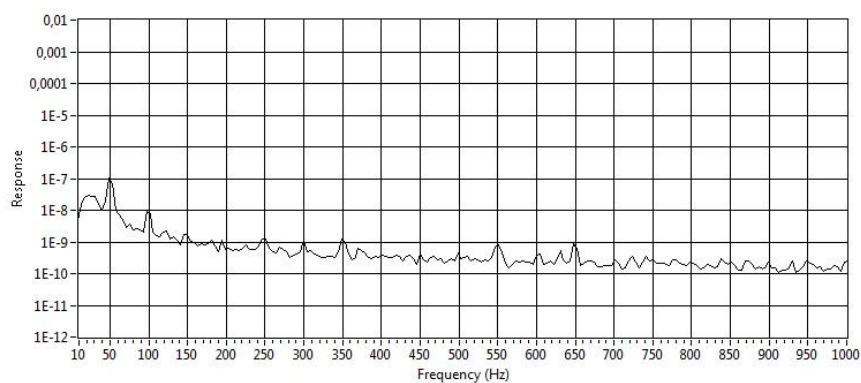


Figura I.4- Motor e variador desligado em *PK. Hold AVG100* escala linear na frequência

Motor e variador ligado à corrente mas sem *standby*:

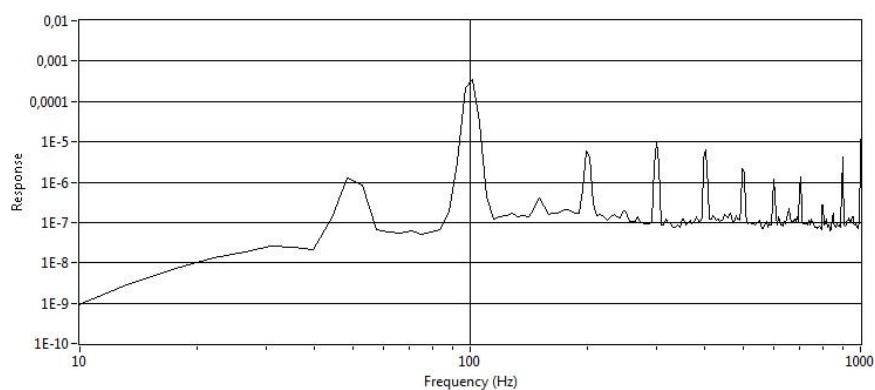


Figura I.5- Motor e variador em *standby RMS AVG100* escala logarítmica na frequência

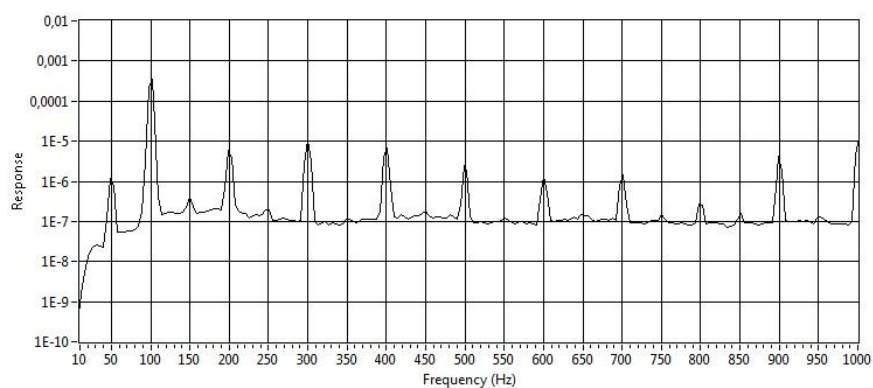


Figura I.6- Motor e variador em *standby RMS AVG100* escala linear na frequência

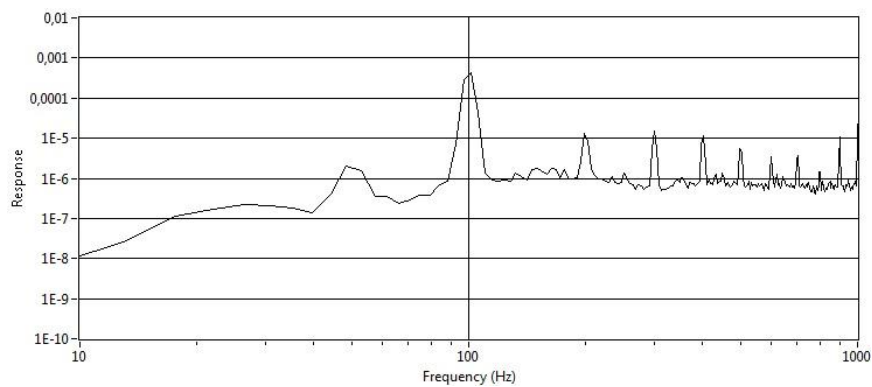


Figura I.7- Motor e variador em *standby* PK. Hold AVG100 escala logarítmica na frequência

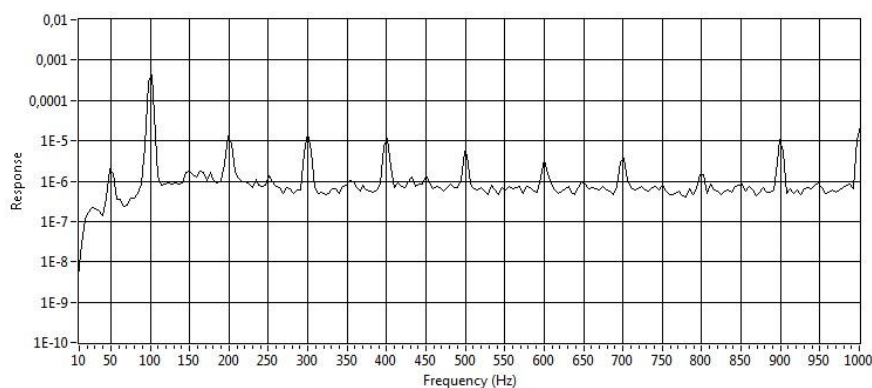


Figura I.8- Motor e variador em *standby* PK. Hold AVG100 escala linear na frequência

Motor e redutor com veio de saída (sem carga) em funcionamento com o variador a 50Hz:

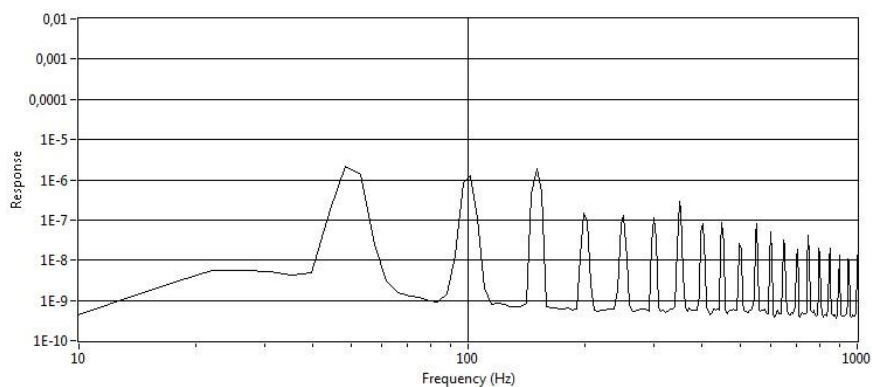


Figura I.9- Sem carga RMS AVG100 escala logarítmica na frequência

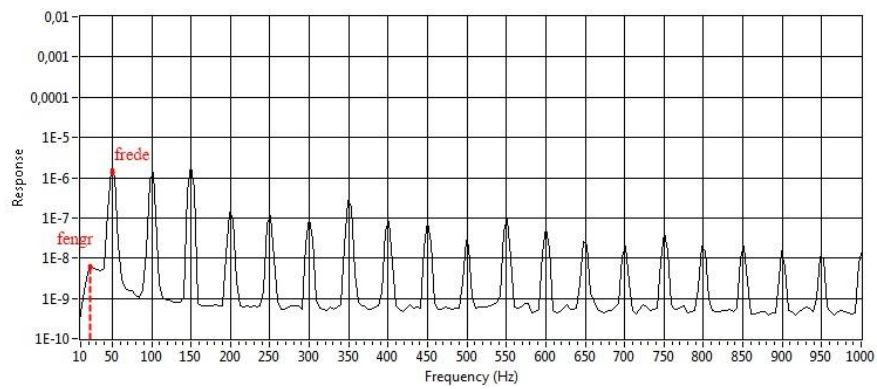


Figura I.10- Sem carga *RMS AVG100* escala linear na frequência

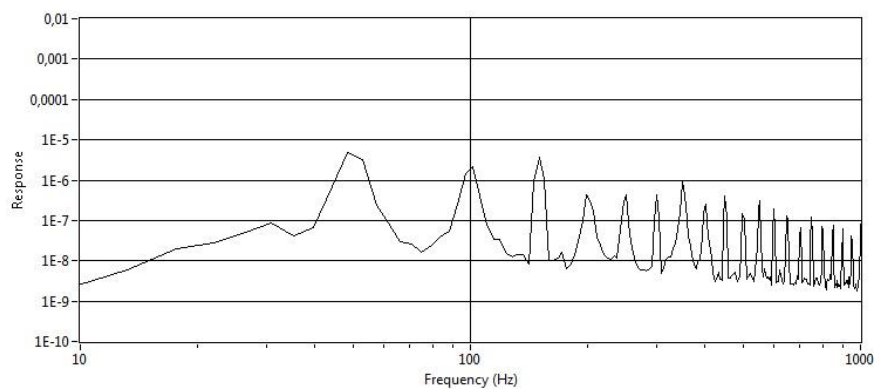


Figura I.11- Sem carga *PK. Hold AVG100* escala logarítmica na frequência

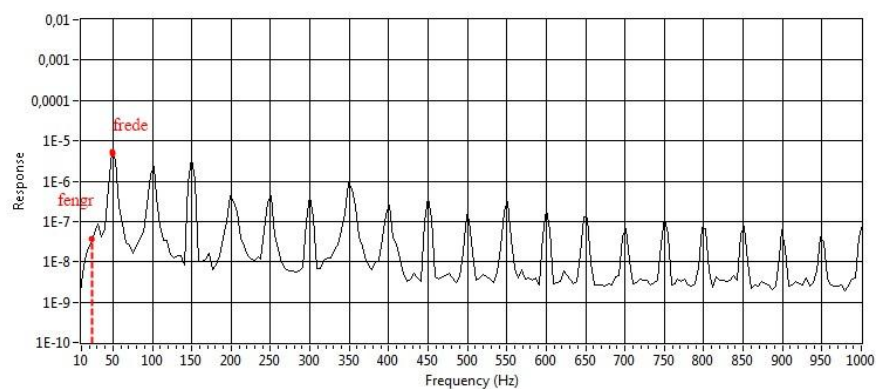


Figura I.12- Sem carga *PK. Hold AVG100* escala linear na frequência

Monitorização entre 1º e 4º:

Ponto 2º

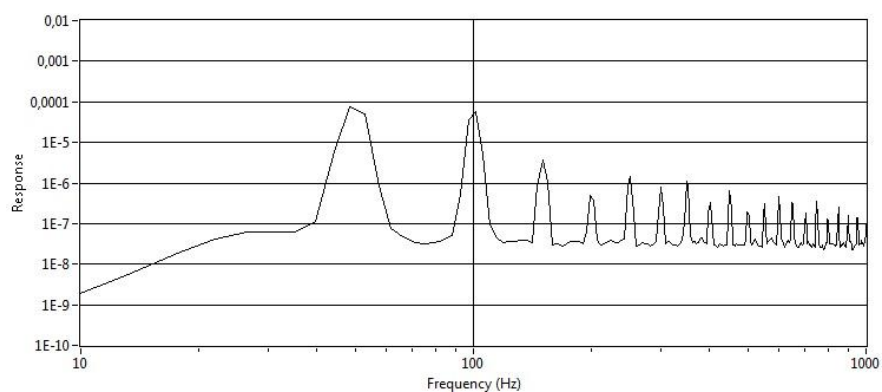


Figura I.13- 22 kg RMS AVG100 escala logarítmica na frequência

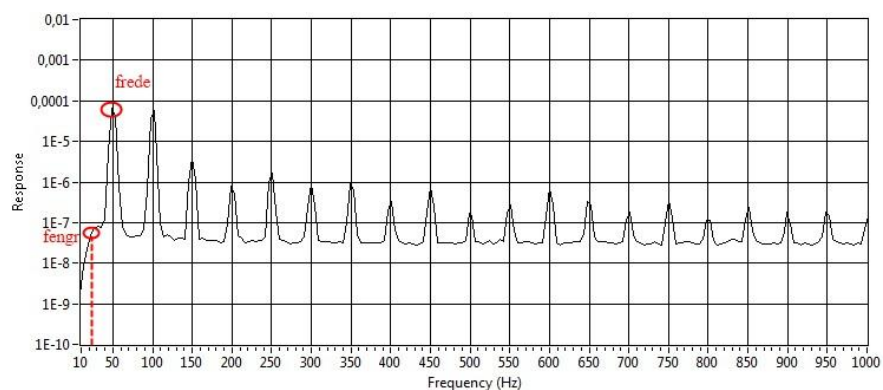


Figura I.14- 22 kg RMS AVG100 escala linear na frequência

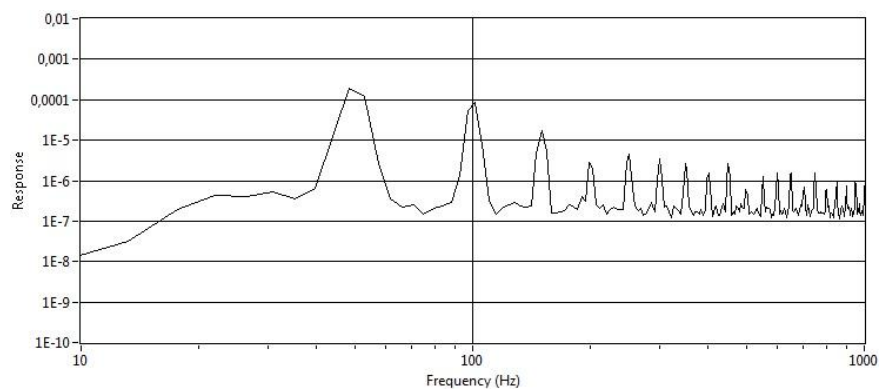


Figura I.15- 22 kg PK. Hold AVG100 escala logarítmica na frequência

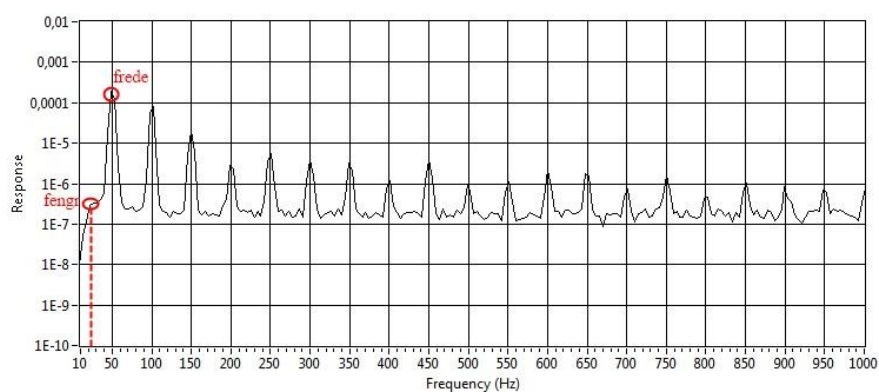


Figura I.16- 22 kg PK. Hold AVG100 escala linear na frequência

Ponto 3°

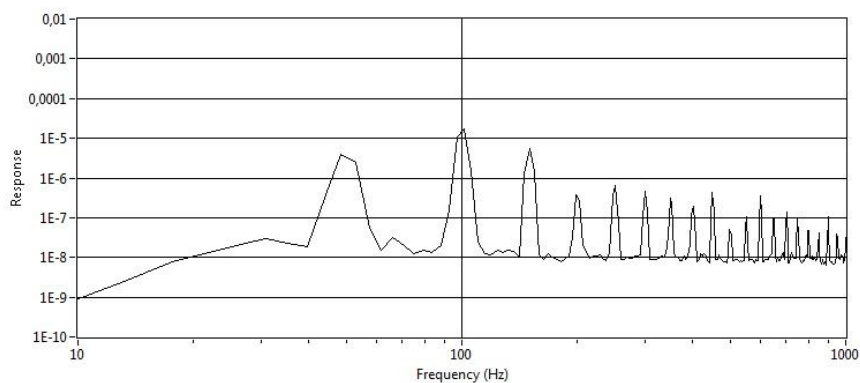


Figura I.17- 22 kg RMS AVG100 escala logarítmica na frequência

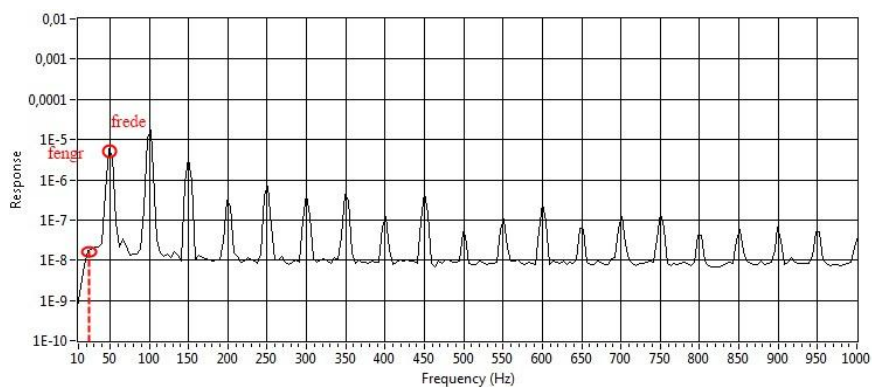


Figura I.18- 22 kg RMS AVG100 escala linear na frequência

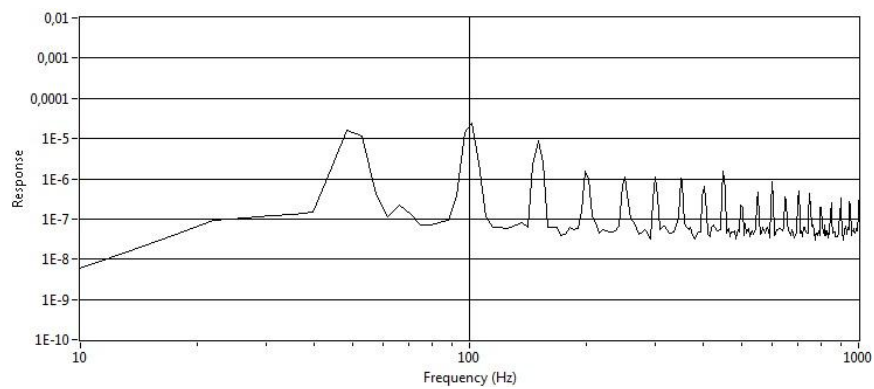


Figura I.19- 22 kg PK. Hold AVG100 escala logarítmica na frequência

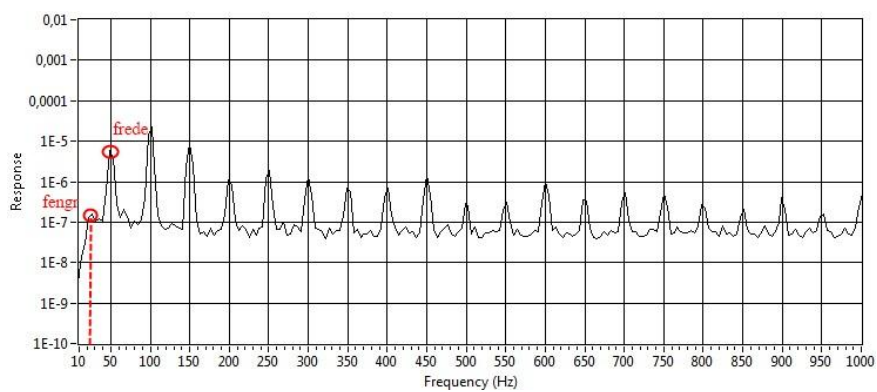


Figura I.20- 22 kg PK. Hold AVG100 escala linear na frequência

Monitorização entre 4° e 8°:

Ponto 5°

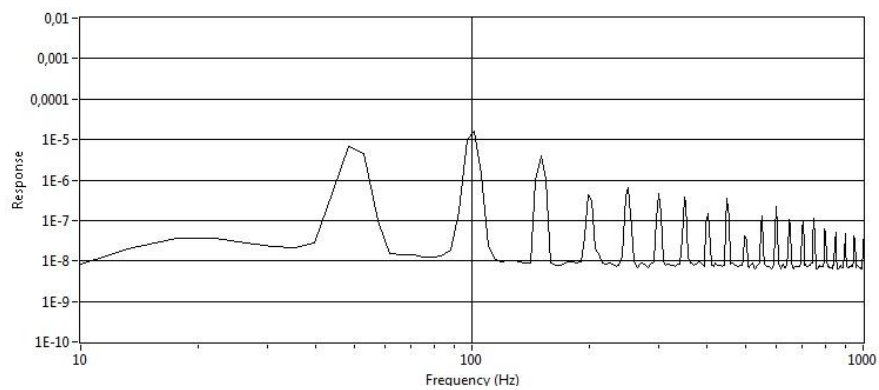


Figura I.21- 38 kg RMS AVG100 escala logarítmica na frequência

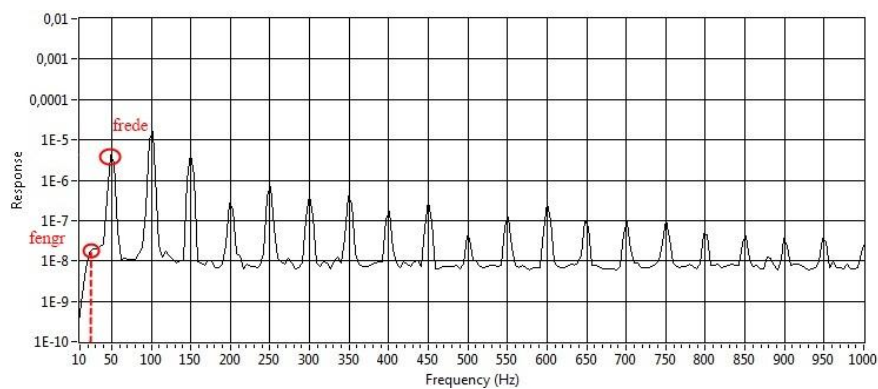


Figura I.22- 38 kg RMS AVG100 escala linear na frequência

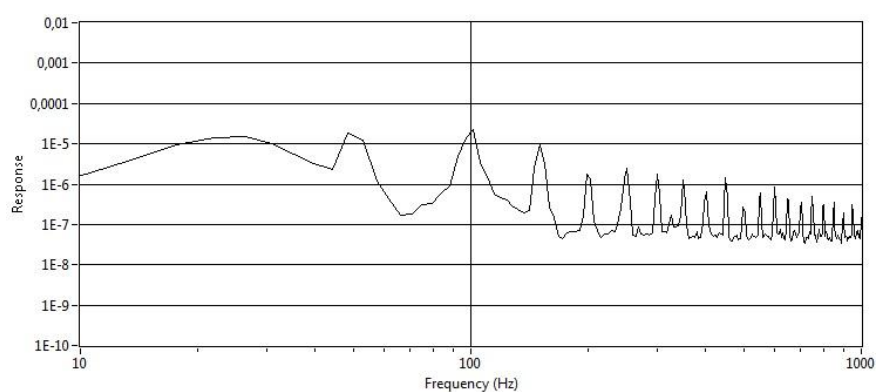


Figura I.23- 38 kg PK. Hold AVG100 escala logarítmica na frequência

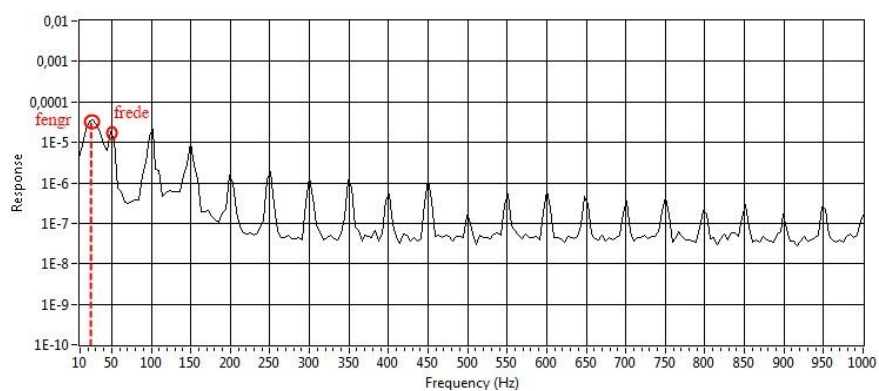


Figura I.24- 38 kg PK. Hold AVG100 escala linear na frequência

Ponto 6°

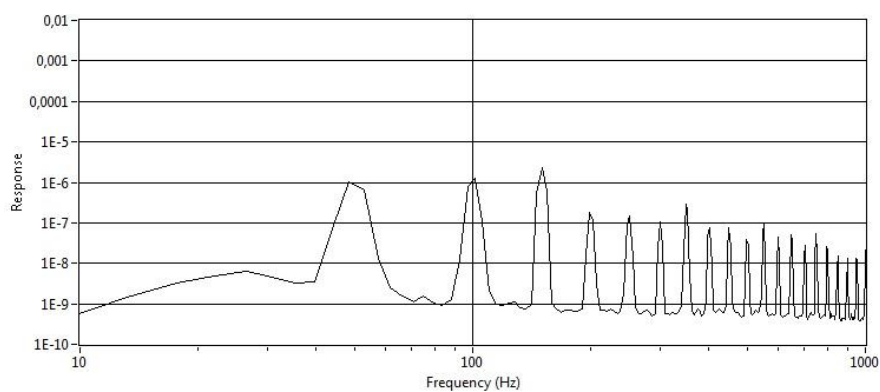


Figura I.25- 38 kg RMS AVG100 escala logarítmica na frequência

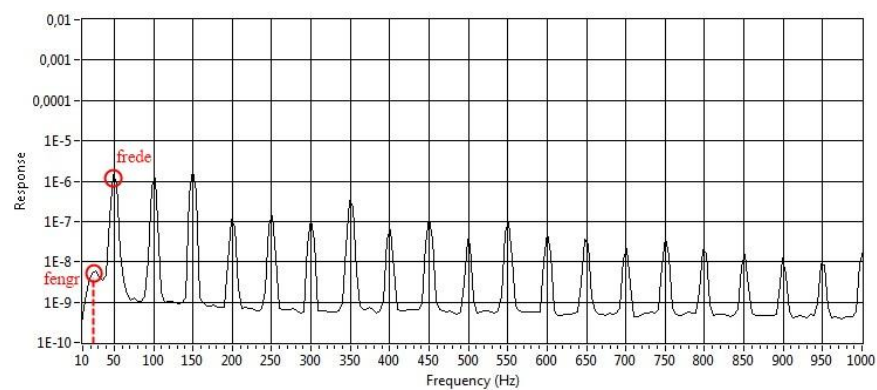


Figura I.26- 38 kg RMS AVG100 escala linear na frequência

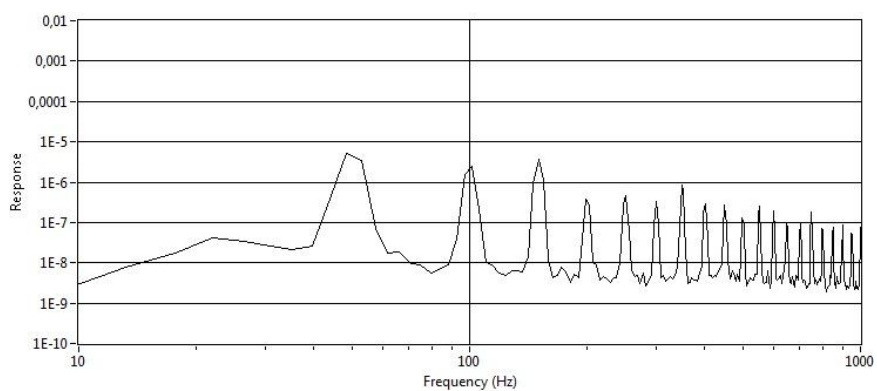


Figura I.27- 38 kg PK. Hold AVG100 escala logarítmica na frequência

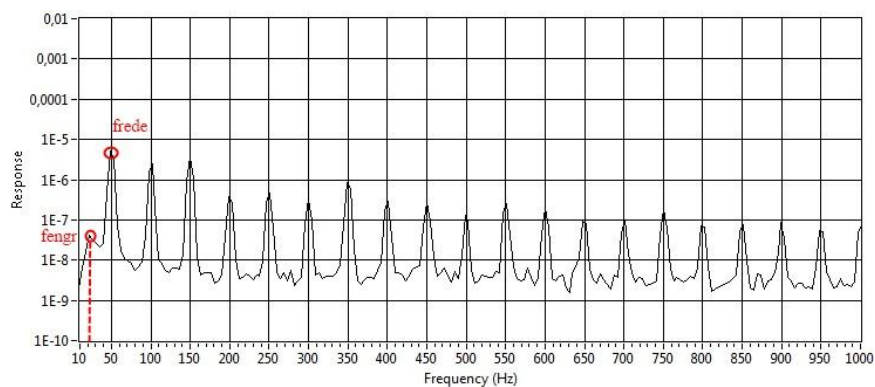


Figura I.28- 38 kg PK. Hold AVG100 escala linear na frequência

Ponto 7°

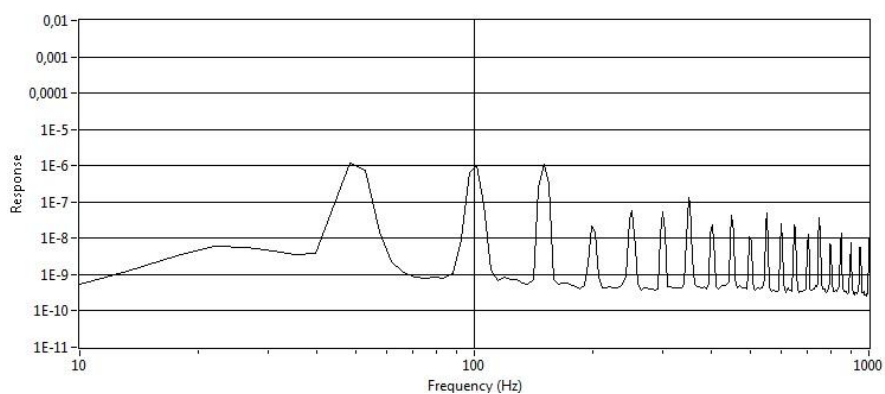


Figura I.29- 38 kg RMS AVG100 escala logarítmica na frequência

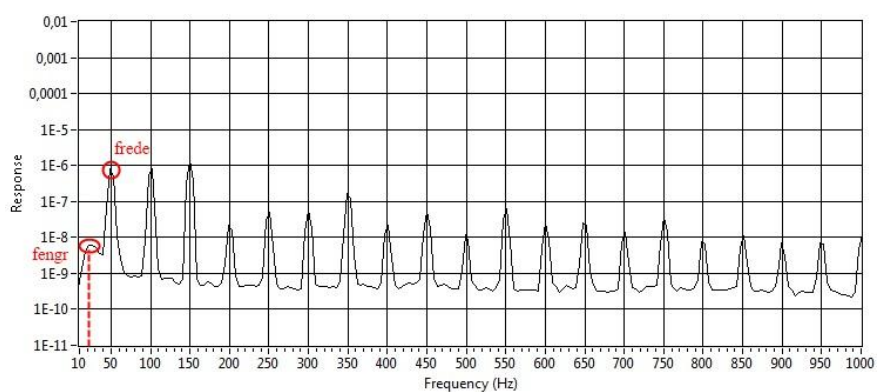


Figura I.30- 38 kg RMS AVG100 escala linear na frequência

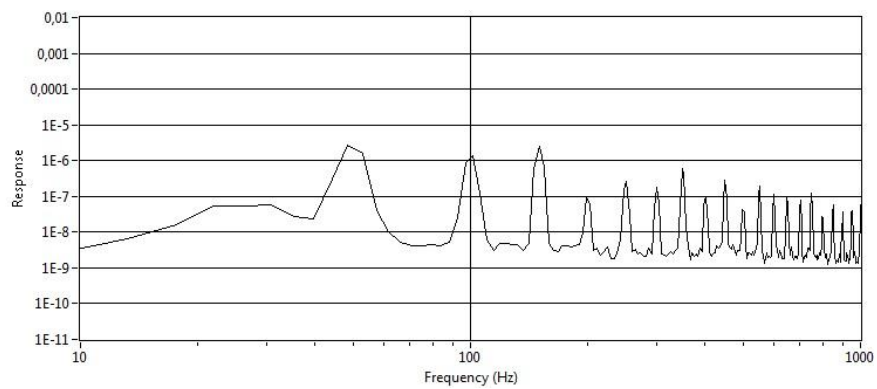


Figura I.31- 38 kg PK. Hold AVG100 escala logarítmica na frequência

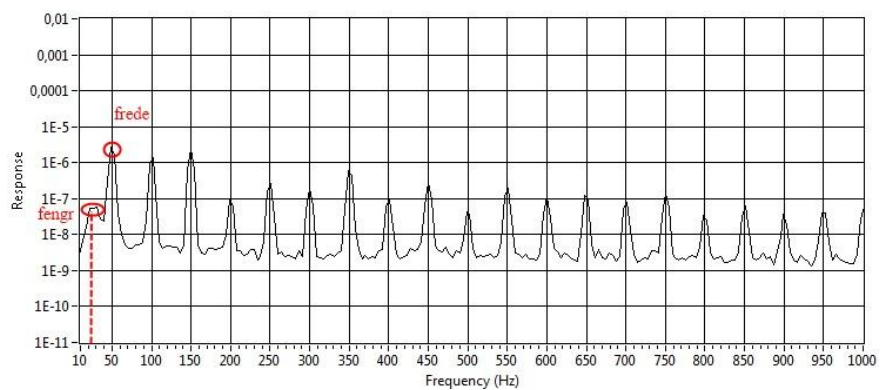


Figura I.32- 38 kg PK. Hold AVG100 escala linear na frequência

Anexo J- Evolução da temperatura do lubrificante

Para a rotação livre do redutor (0 kg):

Onde $T_{amb_i} = 22^{\circ}C$ e $T_{amb_f} = 23^{\circ}C$ (teste N°1)

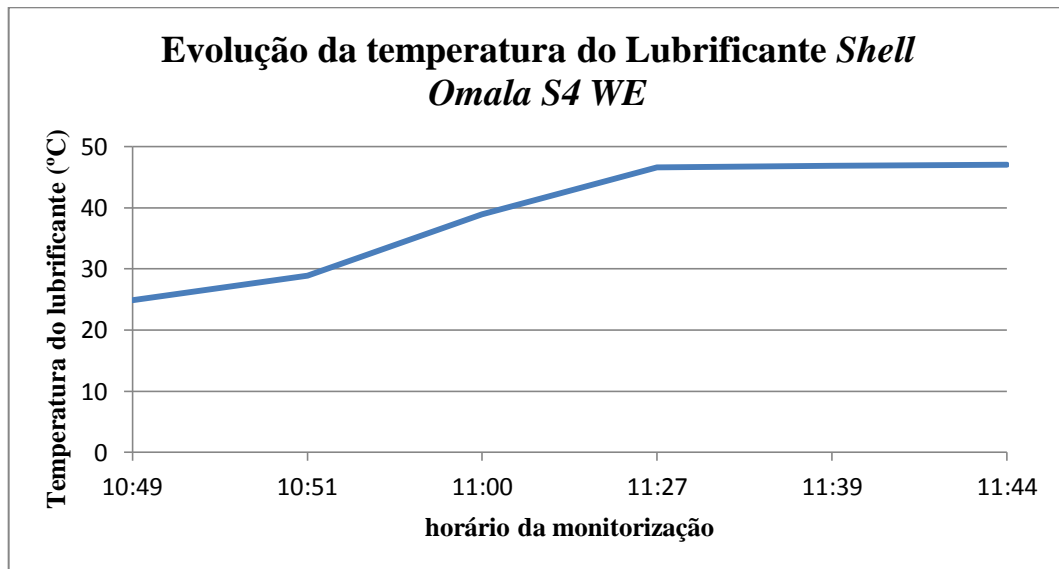


Figura J.1- Evolução da temperatura do lubrificante na situação de sem carga

Para 22 kg:

Onde: $T_{amb_i} = 21^{\circ}C$ e $T_{amb_f} = 23,2^{\circ}C$ (teste N° 7)

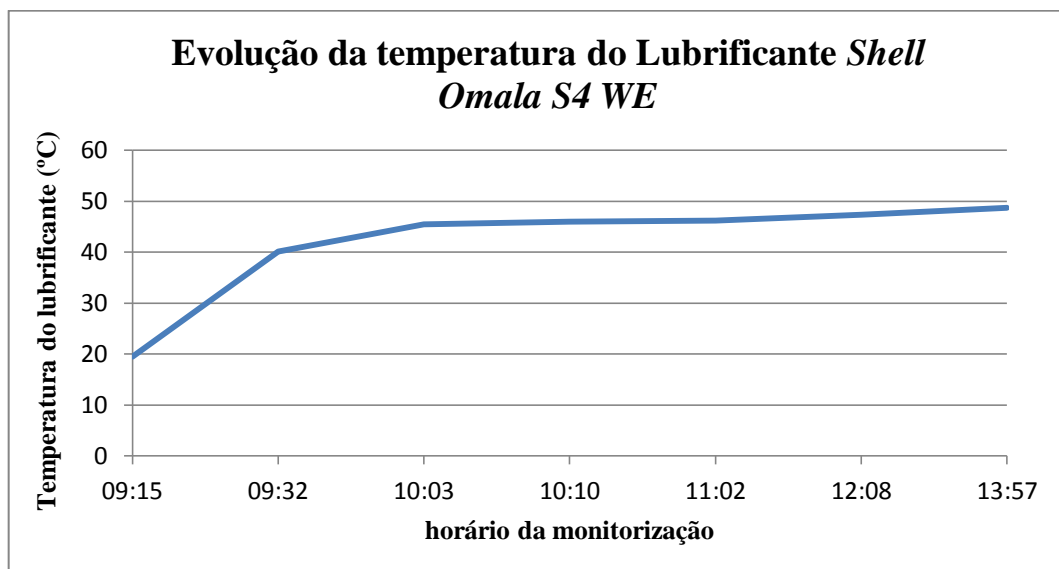


Figura J.2- Evolução da temperatura do lubrificante na situação de 22 Kg

Onde: $T_{amb_i} = 21,8^{\circ}C$ e $T_{amb_f} = 22,8^{\circ}C$ (teste N° 8)

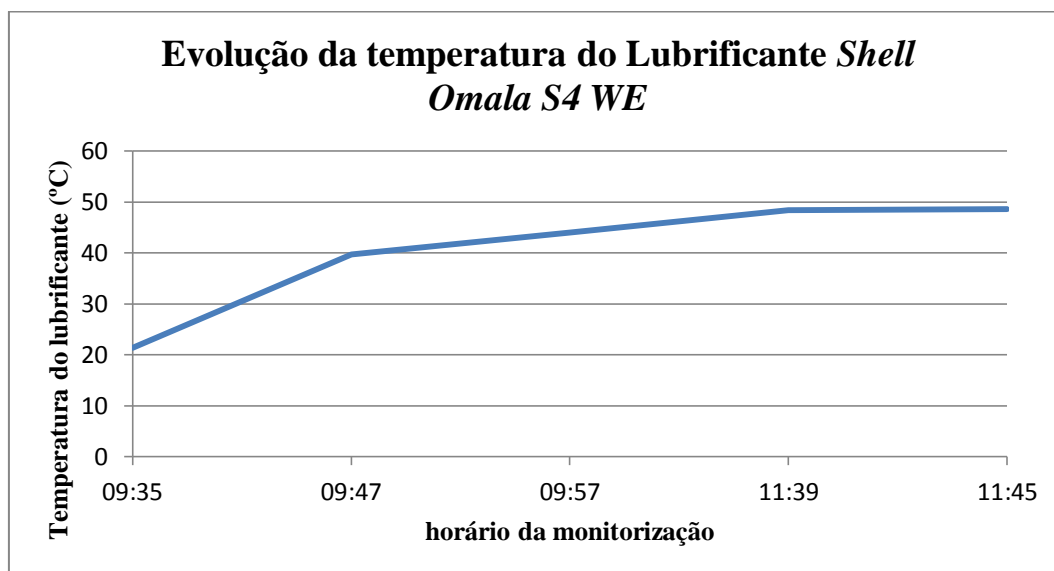


Figura J.3- Evolução da temperatura do lubrificante na situação de 22 Kg

Para 38 kg:

Onde: $T_{amb_i} = 24^{\circ}C$ e $T_{amb_f} = 28,3^{\circ}C$ (teste N° 11)

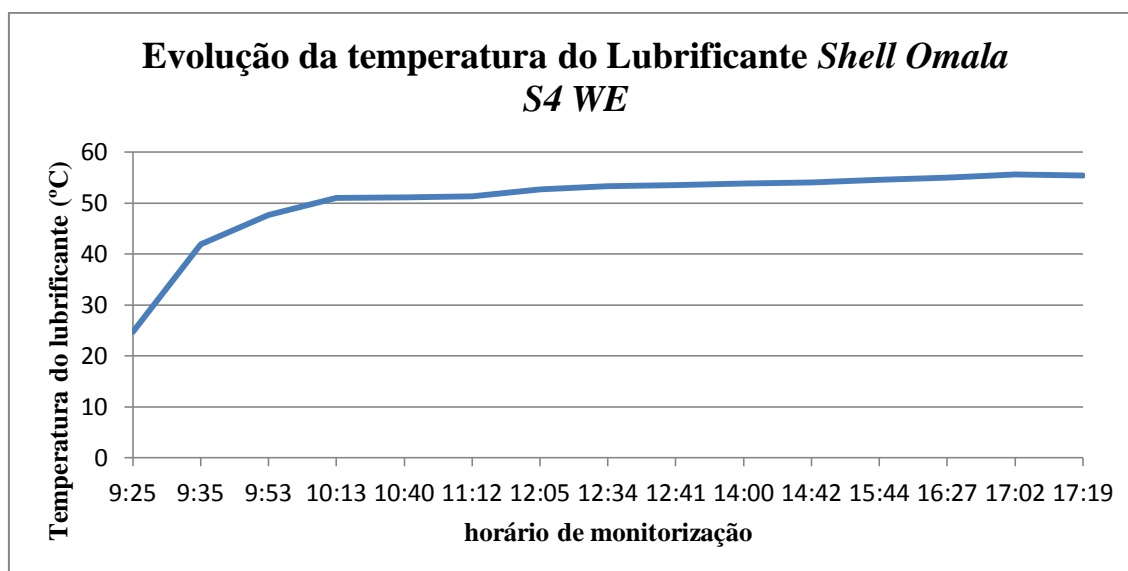


Figura J.4- Evolução da temperatura do lubrificante na situação de 38 Kg

Onde: $T_{amb_i} = 25,1^{\circ}\text{C}$ e $T_{amb_f} = 28^{\circ}\text{C}$ (teste N° 12)

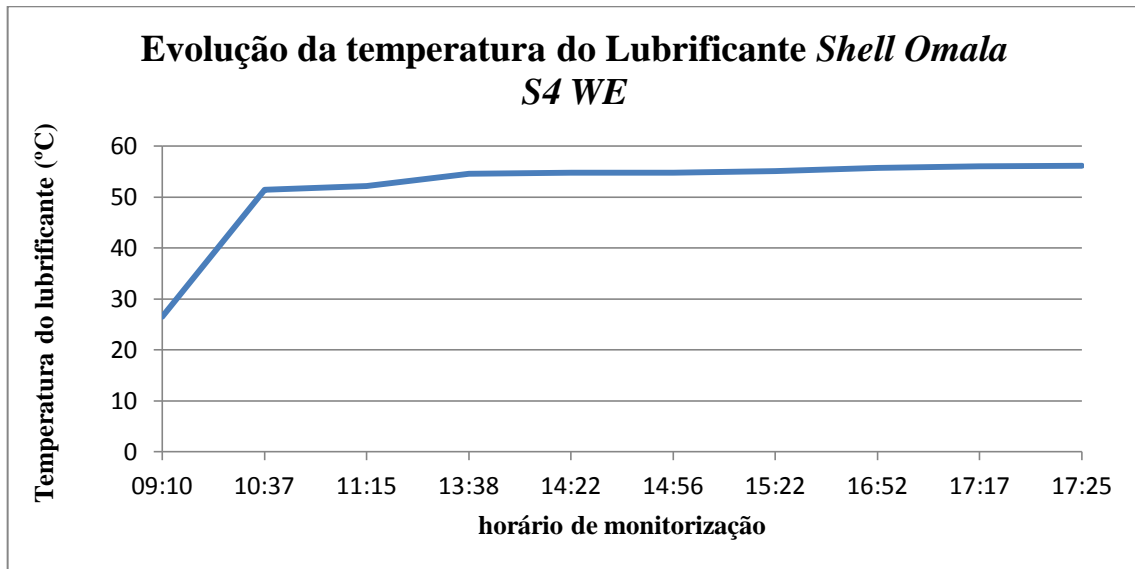


Figura J.5- Evolução da temperatura do lubrificante na situação de 38 Kg

Onde: $T_{amb_i} = 21,1^{\circ}\text{C}$ e $T_{amb_f} = 25,4^{\circ}\text{C}$ (teste N° 14)

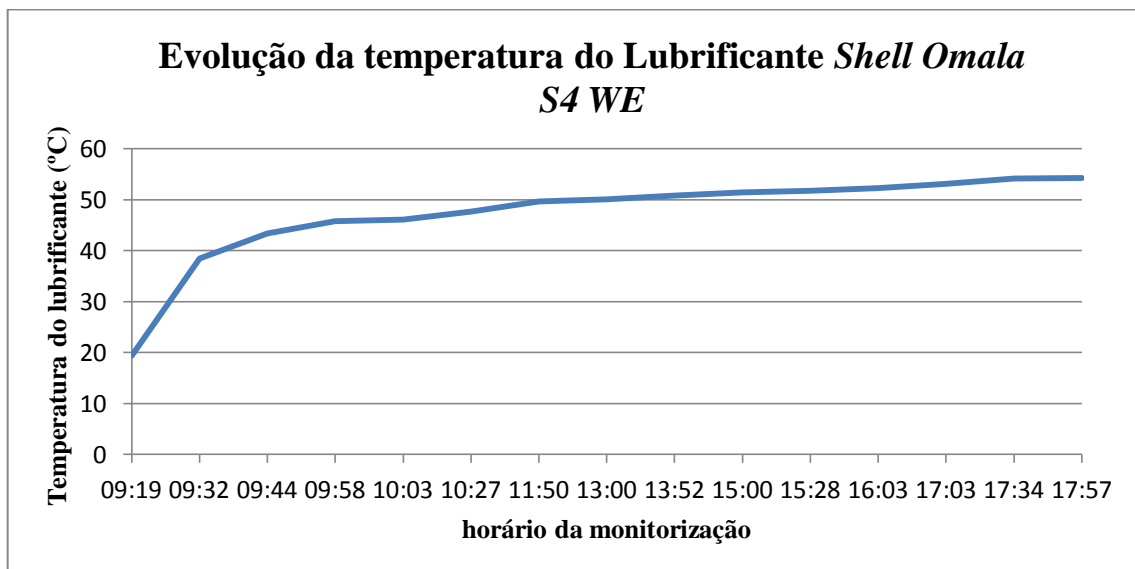


Figura J.6- Evolução da temperatura do lubrificante na situação de 38 Kg

Onde: $T_{amb_i} = 21,2^{\circ}C$ e $T_{amb_f} = 25,3^{\circ}C$ (teste N° 16)

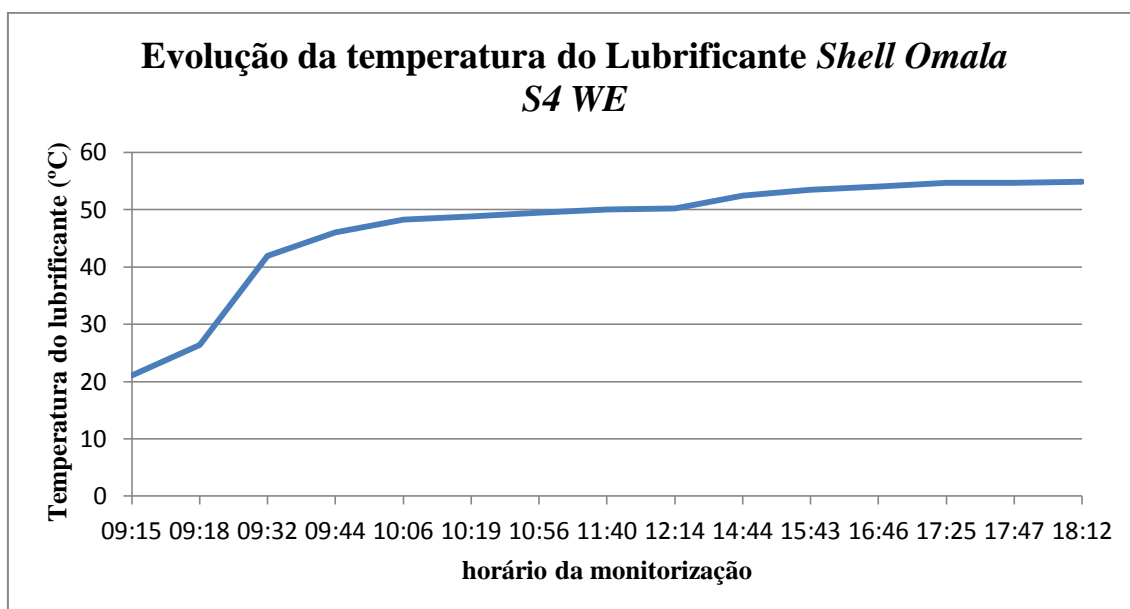


Figura J.7- Evolução da temperatura do lubrificante na situação de 38 Kg

Onde: $T_{amb_i} = 20,5^{\circ}C$ e $T_{amb_f} = 26,1^{\circ}C$ (teste N° 17)

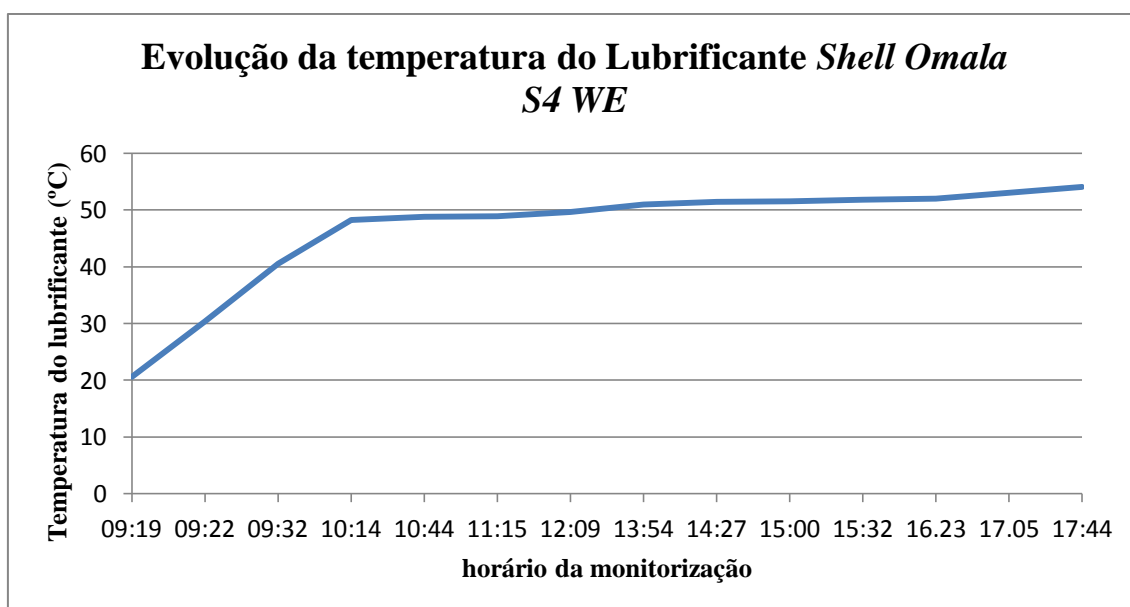


Figura J.8- Evolução da temperatura do lubrificante na situação de 38 Kg